



# Management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration au sein d'une chaîne logistique : une approche par simulation

Guillaume Marquès

## ► To cite this version:

Guillaume Marquès. Management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration au sein d'une chaîne logistique : une approche par simulation. Autre. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2010. Français. NNT : . tel-00693889

**HAL Id: tel-00693889**

**<https://theses.hal.science/tel-00693889>**

Submitted on 3 May 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université  
de Toulouse

# THÈSE

## En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

**Délivré par :**

Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse)

**Discipline ou spécialité :**

Systèmes Industriels

---

**Présentée et soutenue par :**

Guillaume MARQUES

**le :** vendredi 10 décembre 2010

**Titre :**

Management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration au sein  
d'une chaîne logistique: une approche par simulation

---

**Ecole doctorale :**

Systèmes (EDSYS)

**Unité de recherche :**

Centre Génie Industriel, Ecole des Mines d'Albi Carmaux - IRIT, Toulouse

**Directeur(s) de Thèse :**

Jacques LAMOTHE(Directeur)

Caroline THIERRY et Didier GOURC (Co-directeurs)

**Rapporteurs :**

Yannick FREIN

Patrick BURLAT

**Autre(s) membre(s) du jury**

Vincent GIARD (Président)

Séverine DURIEUX-PARIS

Christophe ROUSSE (invité)



# Remerciements

Il y a peu de temps on m'a soumis à l'exercice de l'auto-description. La première chose qui me soit venue à l'esprit fut « je suis quelqu'un de chanceux ». Oui, en effet, j'ai eu et continue à avoir de la chance à bien des égards et cette thèse n'a pas dérogé à la règle.

D'abord, de la chance de par la quantité de personnes qu'elle m'a permis de connaître et de côtoyer. Je pense bien sûr à tous les membres du centre génie industriel dont il serait un peu long de citer tous les noms. J'accorderai tout de même une place spéciale à Lionel, Franck, Elise, Fred, Seb, Saïna, François ou Thomas pour leur bonne humeur et les bons moments passés, Isabelle pour sa disponibilité et sa gentillesse de tous les instants. Je ne peux également oublier mes collègues de bureau Carine, Hung et Romain. Grâce à eux j'ai pu connaître Tao, la petite Isabelle ou encore Annie, deux jolies familles avec qui j'ai beaucoup appris à tout plein d'égards. Matthieu garde une place toute particulière pour être celui qui mis le pied à l'étrier après m'avoir encadré tout au long de ma formation d'ingénieur ainsi que pour le soutien qu'il reste encore aujourd'hui.

La chance m'a également fait tomber dans une belle famille formidable : Yvette, Tristan, Coryne et Rémy, sans oublier les Blancs, Roques, Cot et autres Malet... Elle m'a également mis sur la route d'amis importants du basket, de l'EMAC ou de Corse...

Merci également à ma famille malgré l'éloignement. Mon père et ma mère pour avoir su me pousser à certains moments clés. Philou, dont la joie et la gaieté sont une source constante d'inspiration et de fierté. Une pensée pour Pépé, Taya et Mamie...

Mais la chance a surtout permis de pouvoir suivre les conseils et les exemples de trois encadrants géniaux dont il est difficile de trouver les mots pour décrire tout ce que je leur dois. Un grand merci donc à Jacques, Didier et Caroline. J'espère juste avoir la chance de continuer à travailler avec eux.

Enfin, si cette thèse a démarré en septembre 2007, cette période a surtout coïncidé avec ma rencontre avec Flora. Tout ceux qui viennent d'être cités peuvent témoigner de tout ce qu'elle représente pour moi et du soutien qu'elle a été dans ce travail. C'est à elle que je réserve mon plus grand merci et que je dois mon plus beau coup de chance...

Et tous les autres qui ne m'en voudront pas je l'espère...





# Sommaire

## **INTRODUCTION GENERALE : LE MANAGEMENT DE LA COOPERATION, UN CONTEXTE A DECISIONS**

<b>1</b>	<b>Coopération et Supply Chain Management (SCM).....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Coopération dans les chaînes logistiques et management des risques .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Le processus de décision (pilotage de la chaîne) au cœur de nos préoccupations.....</b>	<b>9</b>
3.1	Plusieurs types de décision .....	9
3.2	Des décisions non programmables : le management de la coopération .....	10
3.3	L'écueil de la « bonne pratique » révélateur d'une coopération complexe .....	11
<b>4</b>	<b>Problématique .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Organisation du manuscrit .....</b>	<b>14</b>
5.1	Notre vision de la coopération (Introduction générale) .....	14
5.2	Risque et décisions, quelle aide ? (Chapitre 1).....	15
5.3	Démarche de modélisation et simulation de l'exploitation de la chaîne logistique (chapitres 2 et 3) .	15
5.4	Aide à la décision pour la gestion de la coopération (Chapitre 4).....	16
5.5	Application de la démarche : cas Pierre Fabre (chapitre 5) .....	16
5.6	Synthèse : vision générale de l'approche.....	17
	Résumé .....	18

## **PARTIE I : Etat de l'Art**

### **CHAPITRE 1 : PRISE DE DECISION ET MANAGEMENT DES RISQUES, APPLICATION AU MANAGEMENT DES COOPERATIONS**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>COMPRENDRE ET REPRESENTER LA DECISION, UNE AFFAIRE DE PARADOXES... ..</b>	<b>23</b>
2.1	LA DECISION, L'HOMME DANS SON ENVIRONNEMENT ET SA RELATION AU TEMPS .....	23
2.2	LES APPORTS DES MATHEMATICIENS ET ECONOMISTES (THEORIE DE LA DECISION) .....	25
2.2.1	<i>La décision dans le risque (ou sous le risque) .....</i>	<i>26</i>
2.2.2	<i>La décision dans l'incertain (1/2) : l'utilité espérée subjective .....</i>	<i>27</i>
2.2.3	<i>La décision dans l'incertain (2/2) : critères non probabilistes .....</i>	<i>28</i>
2.2.4	<i>Une représentation de la mise en œuvre de décisions : l'arbre de décision .....</i>	<i>32</i>
2.3	LE FACTEUR HUMAIN (APPROCHE COGNITIVE).....	34
2.3.1	<i>Théorie comportementale de la décision .....</i>	<i>34</i>
2.3.2	<i>Théorie du jugement social et théorie fonctionnelle de la cognition.....</i>	<i>35</i>
2.4	BILAN : QUELLE AIDE POUR LA DECISION ? .....	36
<b>3</b>	<b>RISQUE ET DECISION, LES INSEPARABLES : CAS DU MANAGEMENT DES RELATIONS INDUSTRIELLES.....</b>	<b>37</b>
3.1	LA NOTION DE RISQUE .....	37
3.2	LE PROCESSUS DE MANAGEMENT DES RISQUES .....	39
3.3	LA MANAGEMENT DES RISQUES POUR LE MANAGEMENT DES CHAINES LOGISTIQUES (SCRM) .....	41
3.3.1	<i>Identification .....</i>	<i>42</i>
3.3.2	<i>Evaluation.....</i>	<i>45</i>
3.3.3	<i>Traitement.....</i>	<i>46</i>

<b>4</b>	<b>DISCUSSION SUR L'APPROCHE ET CADRAGE DE L'ETUDE .....</b>	<b>59</b>
4.1	PRECISION SUR LA REPRESENTATION DE LA DECISION .....	59
4.2	NOTRE APPROCHE DU MANAGEMENT DES RISQUES .....	60
4.2.1	<i>Identification</i> .....	60
4.2.2	<i>Evaluation</i> .....	61
4.2.3	<i>Traitement</i> .....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>61</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>63</b>

## **CHAPITRE 2 : LA MODELISATION : REPRESENTATION ET SIMULATION, APPLICATION A LA CHAINE LOGISTIQUE**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>66</b>
<b>2</b>	<b>LA NOTION DE MODELE ET LE DOUBLE ROLE DE LA DEMARCHE DE MODELISATION .....</b>	<b>67</b>
2.1	MODELE ET MODELISATION, UN PREMIER PAS DANS LA DECISION .....	67
2.2	LE CONCEPT D'ABSTRACTION .....	70
2.3	VUE GENERALE DE NOTRE DEMARCHE DE MODELISATION.....	73
<b>3</b>	<b>LE MODELE : REPRESENTER UNE REALITE PERÇUE .....</b>	<b>75</b>
3.1	LES TECHNIQUES D'ABSTRACTION .....	75
3.2	VERS DES ELEMENTS DE DIFFERENTIATION DE MODELES REPRESENTATIFS DE LA CHAINE LOGISTIQUE .....	76
3.3	LES MODELES REPRESENTATIFS A BASE D'AGENTS .....	81
3.3.1	<i>La notion d'agent</i> .....	81
3.3.2	<i>Les champs d'utilisation du multi-agent</i> .....	82
<b>4</b>	<b>LE MODELE : SIMULER, ANTICIPER LE COMPORTEMENT DU SYSTEME.....</b>	<b>89</b>
4.1	VERS DES ELEMENTS DE DIFFERENCIATION DE MODELES DE SIMULATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE.....	89
4.2	LA SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS.....	92
4.3	LES MODELES DE SIMULATION A BASE D'AGENTS .....	93
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>93</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>95</b>

## **PARTIE II : Proposition**

### **CHAPITRE 3 : LOGIRISK, OUTIL DE SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS A BASE D'AGENTS**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION (CADRE D'ANALYSE).....</b>	<b>100</b>
<b>2</b>	<b>LE MODELE REPRESENTATIF DE LOGIRISK.....</b>	<b>102</b>
2.1	LE CŒUR DU MODELE.....	103
2.1.1	<i>Vision générale d'un acteur</i> .....	103
2.1.2	<i>Les processus de planification d'un acteur</i> .....	105
2.1.3	<i>Les protocoles de collaboration</i> .....	121
2.2	LES MODELES AMONTS ET AVALS .....	125
2.2.1	<i>Agent amont</i> .....	125
2.2.2	<i>Agent aval</i> .....	125

<b>3</b>	<b>LE MODELE DE SIMULATION .....</b>	<b>137</b>
3.1	TRAITEMENT D'UNE EXPERIENCE (NIVEAU BAS) .....	137
3.1.1	<i>Traitement d'une expérience : principe général</i> .....	137
3.1.2	<i>Implémentation des agents</i> .....	139
3.1.3	<i>La gestion des événements</i> .....	139
3.1.4	<i>La génération de nombres aléatoires</i> .....	140
3.1.5	<i>Bilan</i> .....	141
3.2	DEFINITION ET TRAITEMENT D'UN PLAN D'EXPERIENCES (NIVEAU HAUT) .....	142
<b>4</b>	<b>ELEMENTS DE VALIDATION.....</b>	<b>144</b>
4.1	DES INDICATEURS POUR VALIDER LE MODELE DE SIMULATION (VALIDATION DU SYSTEME REEL) .....	144
4.1.1	<i>Evaluation globale</i> .....	145
4.1.2	<i>Evaluation « statique »</i> .....	146
4.1.3	<i>Evaluation « dynamique »</i> .....	148
4.2	VALIDATION STATISTIQUE DES RESULTATS DE SIMULATION (VALIDATION DES OBJECTIFS D'ANALYSE).....	151
4.2.1	<i>Résultats de simulation</i> .....	151
4.2.2	<i>Analyse statistique (plans factoriels complets)</i> .....	151
4.2.3	<i>Illustration</i> .....	154
<b>5</b>	<b>CONCLUSION ET DISCUSSION .....</b>	<b>158</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>159</b>

## **CHAPITRE 4 : LA SIMULATION AU CŒUR D'UNE DEMARCHE DE MANAGEMENT DES RISQUES POUR LA GESTION DE LA COLLABORATION**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>162</b>
<b>2</b>	<b>MODELISATION DU PROCESSUS DE DECISION .....</b>	<b>164</b>
2.1	MODELE REPRESENTATIF.....	164
2.1.1	<i>Arbres et critères non probabilistes : outils de représentation</i> .....	164
2.1.2	<i>Choix d'abstraction</i> .....	164
2.1.3	<i>Vers des arbres de décisions multi-acteurs donc multi points de vues</i> .....	165
2.2	MODELE DE SIMULATION DU PROCESSUS DE DECISION .....	173
<b>3</b>	<b>DEMARCHE GLOBALE D'AIDE A LA DECISION POUR LE MANAGEMENT DES RELATIONS INDUSTRIELLES</b>	<b>174</b>
3.1	VUE GLOBALE DE LA DEMARCHE .....	174
3.2	DETAILS DE LA DEMARCHE .....	175
3.2.1	<i>Etape 1 : définition de la situation de décision</i> .....	175
3.2.2	<i>Etape 2 : évaluation des situations identifiées</i> .....	176
3.2.3	<i>Etape 3 : évaluation de la situation de décision</i> .....	177
3.3	REMARQUE SUR LE CARACTERE ITERATIF.....	178
<b>4</b>	<b>CONCLUSION ET DISCUSSION : QUELLE VALEUR POUR LES PRECONISATIONS REALISEES ? .....</b>	<b>179</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>181</b>

## Partie III : Illustration

### **CHAPITRE 5 : LA GESTION DE LA COOPERATION DE PIERRE FABRE AVEC SES FOURNISSEURS DE PRODUITS DE CONDITIONNEMENT**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>186</b>
1.1	LA CHAÎNE LOGISTIQUE PIERRE FABRE (DERMO-COSMETIQUE).....	186
1.2	OBJECTIF DE L'ÉTUDE .....	187
<b>2</b>	<b>ELEMENTS DE CONTEXTE.....</b>	<b>188</b>
2.1	LES PRODUITS.....	188
2.2	LE MARCHÉ .....	188
2.3	LE PROCESSUS PHYSIQUE (CENTRE DE PRODUCTION) .....	189
2.3.1	<i>Les stocks</i> .....	189
2.3.2	<i>La fabrication de « semi-fini »</i> .....	189
2.3.3	<i>Le conditionnement</i> .....	189
2.4	LE PROCESSUS DE PLANIFICATION.....	189
<b>3</b>	<b>MODELISATION DES PROCESSUS PFDC .....</b>	<b>191</b>
3.1	CHOIX D'ABSTRACTION .....	191
3.2	VALIDATION DU MODELE AVAL .....	192
3.2.1	<i>Evaluation « globale »</i> .....	192
3.2.2	<i>Evaluation « statique »</i> .....	193
3.2.3	<i>Evaluation « dynamique »</i> .....	194
3.2.4	<i>Bilan</i> .....	196
<b>4</b>	<b>REPONSE AUX BESOINS .....</b>	<b>196</b>
4.1	CADRE DE L'ÉTUDE.....	196
4.1.1	<i>Sources de risques identifiés en première analyse</i> .....	196
4.1.2	<i>Limites de l'analyse (aléas et décisions étudiées)</i> .....	197
4.2	PB1 : QUELLE COLLABORATION DANS UN CONTEXTE DONNE ? .....	200
4.2.1	<i>Etape 1</i> .....	200
4.2.2	<i>Etape 2 (évaluation LogiRisk)</i> .....	203
4.2.3	<i>Etape 3 (évaluation Trisk)</i> .....	204
4.3	PB2 : QUELLE COLLABORATION DANS UN CONTEXTE PROBABLE ? .....	206
4.3.1	<i>Etape 1</i> .....	206
4.3.2	<i>Etape 2</i> .....	208
4.3.3	<i>Etape 3</i> .....	209
<b>5</b>	<b>CONCLUSION ET DISCUSSION .....</b>	<b>211</b>
5.1	LES RESULTATS OBTENUS.....	211
5.2	PERSPECTIVES D'AMELIORATION .....	212
	<b>RESUME .....</b>	<b>214</b>
	<b><u>CONCLUSION</u>.....</b>	<b>215</b>
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u>.....</b>	<b>221</b>
	<b><u>TABLE DES ILLUSTRATIONS</u>.....</b>	<b>233</b>
	<b><u>ANNEXES</u>.....</b>	<b>239</b>

# Introduction générale : Le management de la coopération, un contexte à décisions

<b>1</b>	<b>COOPERATION ET SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (SCM).....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>COOPERATION DANS LES CHAINES LOGISTIQUES ET MANAGEMENT DES RISQUES.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>LE PROCESSUS DE DECISION (PILOTAGE DE LA CHAINE) AU CŒUR DE NOS PREOCCUPATIONS.....</b>	<b>9</b>
3.1	PLUSIEURS TYPES DE DECISION .....	9
3.2	DES DECISIONS NON PROGRAMMABLES : LE MANAGEMENT DE LA COOPERATION .....	10
3.3	L'ECUEIL DE LA « BONNE PRATIQUE » REVELATEUR D'UNE COOPERATION COMPLEXE .....	11
<b>4</b>	<b>PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>ORGANISATION DU MANUSCRIT .....</b>	<b>14</b>
5.1	NOTRE VISION DE LA COOPERATION (INTRODUCTION GENERALE) .....	14
5.2	RISQUE ET DECISIONS, QUELLE AIDE ? (CHAPITRE 1) .....	15
5.3	DEMARCHES DE MODELISATION ET SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE (CHAPITRES 2 ET 3) .....	15
5.4	AIDE A LA DECISION POUR LA GESTION DE LA COOPERATION (CHAPITRE 4) .....	16
5.5	APPLICATION DE LA DEMARCHE : CAS PIERRE FABRE (CHAPITRE 5) .....	16
5.6	SYNTHESE : VISION GENERALE DE L'APPROCHE .....	17
	<b>RESUME .....</b>	<b>18</b>

# Introduction générale : Le management de la coopération, un contexte à décisions

## 1 Coopération et Supply Chain Management (SCM)

Dès 1962, P.F. Drucker présentait la logistique comme « ce continent inexploité [...] le plus tristement oublié mais le plus prometteur pour les entreprises » (Drucker, 1962). Près de 40 ans plus tard, avec les grands courants de réorganisations industrielles, d'externalisation, de mondialisation des marchés et des échanges, la logistique des produits manufacturiers (électronique, automobile, aviation, électroménagers, ...) s'est étendue et morcelée simultanément. Recentrées sur leur cœur de métier, les entreprises sont de plus en plus nombreuses et dispersées géographiquement et doivent répondre à une demande fortement personnalisée, accordant ainsi à la logistique le rôle stratégique qui lui était promis.

A cet égard, il est intéressant de noter l'évolution de l'appellation de l'association américaine sur le thème de la logistique : « National Council of Physical Distribution management » dans les années 70, « Council of Logistics Management » dans les années 80 puis « Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) » depuis le milieu des années 90. Ce glissement témoigne de l'évolution de la notion de logistique, passant d'une vision intra-organisationnelle (la chaîne de valeur de M. Porter (1985)) à une vision inter-organisationnelle (le modèle SCOR (Supply Chain Council, 2008)). Cette vision inter-organisationnelle accorde une place centrale à la notion de chaîne logistique, terme devenu de nos jours incontournable et pour lequel nous ne manquons plus de définitions ni de revues de littérature<sup>1</sup>.

Dans ces travaux nous retiendrons tout particulièrement la définition de M. Christopher (1992) qui présente la chaîne logistique comme « le réseau d'organisations impliquées par des relations en amont et en aval dans différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés aux consommateurs finaux ». Cette description souligne particulièrement le rôle clé des « relations » dans l'implication, c'est à dire l'intégration des processus des différentes entités de cette chaîne.

La compétition a longtemps été considérée comme l'état normal de cette relation interentreprises. Dans ce contexte, chaque entité se perçoit comme étant un acheteur de biens à des fournisseurs et comme un revendeur de ces mêmes biens à des clients après y avoir ajouté de la valeur. Toutefois, il est désormais démontré que ce genre d'attitude favorise l'apparition de dysfonctionnements importants tels que le fameux effet coup de fouet (« Bullwhip Effect ») (Forrester, 1958).

Ces dysfonctionnements se matérialisent par des diminutions de valeur pour les différentes entités de la chaîne et par des pertes de parts de marché pour la chaîne dans sa globalité. Or, la création, mais surtout l'augmentation ou, du moins, la préservation, de la valeur constitue l'objectif principal (l'unique peut-être même) de chaque organisation qui a dû, avec le temps, faire face aux mutations du marché. De ce point de vue, la prise en compte des « autres » du fait des

---

<sup>1</sup> Nous renvoyons vers les revues bibliographiques suivantes: (Ganeshan, 1999; Stadler and Kilger, 2000; Mentzer et al., 2001; Tan, 2001; Derrouiche, 2007; Galasso, 2007; van der Vaart and van Donk, 2008; Thierry et al., 2008; Amrani-Zouggar, 2009; Stadler, 2009)

dépendances<sup>1</sup> de plus en plus intenses qui se tissent, peut être vue comme une forme d'adaptation naturelle à ces changements. J. Mentzer (2001) décrit d'ailleurs l'incertitude croissante de l'environnement (interne et externe) de la chaîne, la recherche de compétitivité et la nécessité d'accélérer les flux comme trois « pressions », c'est à dire trois incitateurs, à l'établissement de « partenariats » de plus en plus en « stratégiques ».

Pour manager cette chaîne (« Supply Chain Management (SCM) ») et les coopérations qui la composent, H. Stadtler (2000; 2005) définit alors deux activités fondamentales pour assurer la satisfaction du client et donc la compétitivité de la chaîne : l'intégration des entités dans la chaîne et la coordination des flux matériels, financiers et informationnels au travers de celle-ci. La première consiste dans le choix des entités et l'intégration des différents processus impliqués dans la relation. La seconde s'intéresse plus particulièrement à la gestion des flux au travers des processus de pilotage ainsi définis. C'est à la première catégorie de décisions que nous allons particulièrement nous intéresser dans cette étude.

A l'image des travaux de R. Affonso (2008), nous n'entrerons pas ici dans le débat sur les nuances à apporter entre les termes coopération, collaboration ou coordination compte-tenu de la diversité des définitions accordées par chacun. Le mot coopération sera donc entendu comme un synonyme de ces termes sans distinction sur l'intensité de la relation instaurée entre les acteurs. Toutes sortes d'intensités dans la coopération peuvent être envisagées, de la relation ponctuelle et limitée à l'expression d'un besoin, à l'établissement de processus de synchronisation plus complexes sur le long terme.

La Figure 1.1 illustre notre vision des éléments à prendre en compte dans la gestion de la coopération (le pilotage de la chaîne) au sein d'une chaîne logistique distribuée<sup>2</sup>. Selon nous, cette gestion ne peut être réduite aux seules décisions sur les processus partagés à mettre en place entre les entités de la chaîne (processus de couleur foncée entre les entités). Le terme « partagés » souligne ici un certain niveau d'implication de la part d'au moins deux acteurs dans un processus. Ce partage, c'est à dire cette implication, n'est pas forcément équitable du fait du pouvoir de chacun des acteurs sur la relation. Le rôle de ces processus partagés est d'établir des liens entre les interfaces de communications des acteurs.

Les processus internes à chacun d'eux relèvent, en revanche, de leurs comportements individuels qu'il s'agit de faire coopérer (rôle du SCM). Ces processus internes ont une influence directe sur la nature et la qualité des informations transmises aux autres entités au travers des interfaces puis des processus partagés.

De plus, ces systèmes interconnectés évoluent dans un contexte marqué par l'apparition d'aléas sur le flux physique ou sur le comportement du marché. Le rôle du pilotage de la chaîne (SCM) est donc non seulement d'assurer la cohérence entre processus partagés et individuels, mais surtout de rendre cet ensemble pertinent vis à vis d'aléas potentiels ou avérés qui sont sources de risques.

<sup>1</sup> Nous renvoyons aux travaux de J.M. Frayret *et al.* (2003) pour une étude plus approfondie sur la notion de dépendance entre activités à création de valeurs et les moyens utilisables pour les coordonner

<sup>2</sup> qualificatif relatif à la distribution des systèmes de décisions dans la chaîne (systèmes décisions) et donc l'absence d'un pilotage centralisé des entités. Ces travaux porteront uniquement sur ces systèmes distribués.



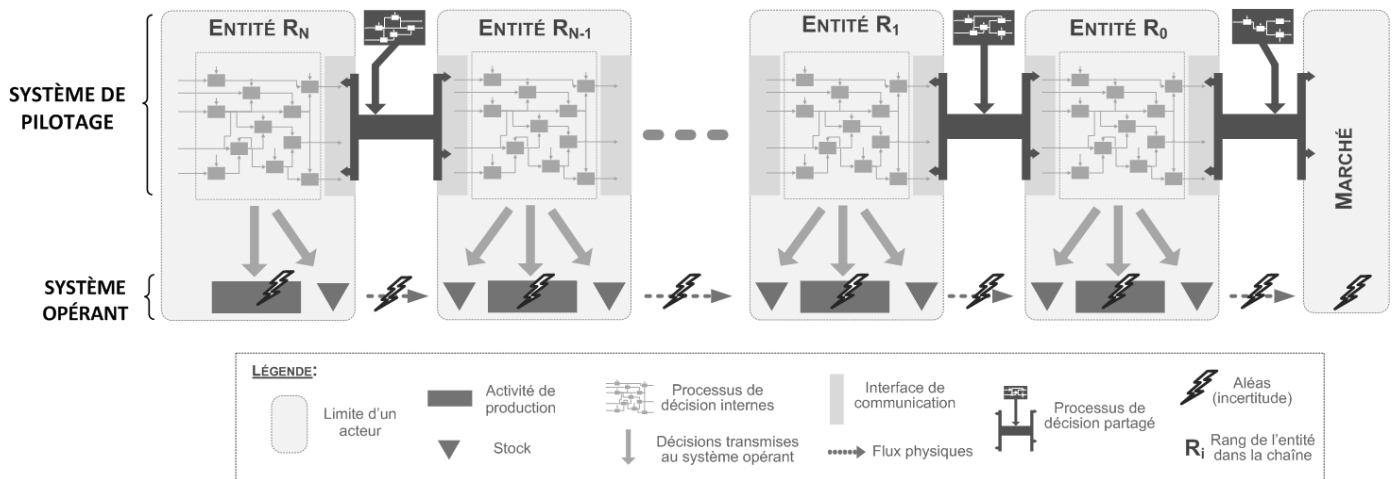


Figure 1.1 : La coopération dans la chaîne logistique

Notons que pour des besoins de lisibilité, une seule chaîne linéaire a été représentée dans la Figure 1.1. Le raisonnement s'étend facilement à plusieurs chaînes non linéaires. La difficulté à lire le dessin aurait alors commencé à traduire la complexité des coopérations ainsi tissées.

Notons également, que nous avons retiré de notre champ d'analyse les aléas pouvant toucher le Système d'Information (ex. : pannes) ou les systèmes de décisions eux mêmes (ex. : indisponibilité d'un décideur).

## 2 Coopération dans les chaînes logistiques et management des risques

La recherche de la pertinence que nous venons d'évoquer entre processus partagés (appelés ici *protocoles*), processus individuels (appelés ici *comportements* individuels) et *aléas* est une activité délicate marquée par le manque de connaissance sur le contexte des différentes situations qui la composent. Ainsi, dans la réalité industrielle, nous ne manquons pas d'exemples, pour illustrer cette nécessité de bien prendre en compte ces trois dimensions de la relation. Le Tableau 1.1 décrit quelques uns de ces exemples où les décisions n'ont porté que sur une (voire deux tout au plus) dimension(s) avec des conséquences pour le moins impressionnantes pour bon nombre d'entre eux.

Entreprises	Perturbation	Dimension affectée	Impact
Foxmeyer (1996)	Changement du système d'information de l'entreprise + réorganisation du centre de distribution + non fiabilité des nouvelles machines mises en place	Comportement interne + aléa (panne)	Frôle la banqueroute
Adidas (1996)	Réorganisation du système de pilotage des centres de distribution	Comportement interne	40 Millions de commandes livrées avec du retard
Toys R us (1999)	Engagement à livrer toute commande web passée avant le 10 décembre pour Noël (marketing) + non anticipation des capacités de production + augmentation très forte de la demande	Comportement interne + aléa (marché)	Plusieurs milliers de commandes livrées après Noël...
Cisco (2001)	Erreur sur la perception du marché future (vision d'une hausse)	Comportement interne + aléa (marché)	2,2 Milliards de dollars de stock
Roncadin (2004)	Evolution du processus d'approvisionnement avec son client (Commande → Gestion Partagée des Approvisionnements) + contexte caractérisé par des produits à forte saisonnalité et faible niveau de rotation en période basse.	Protocole + contexte (type de produit et comportement du marché)	Augmentation de 20% des coûts de transport et baisse du niveau de service de 4%

Tableau 1.1 : Exemples de conséquences d'un non traitement global des dimensions de la coopération (d'après de (SupplyChainDigest, 2006))

Si les cas de FoxMeyer, Adidas ou Toys R us se situent à la limite du cadre de notre analyse, ils montrent néanmoins l'importance du comportement interne d'un acteur sur la performance de la chaîne. Surtout, ils illustrent bien ce qui nous sera pour nous le concept de risque : la rencontre d'un événement (décision ou aléa) avec une situation, rencontre qui est caractérisée par une conséquence sur la performance de la chaîne. En effet, les conséquences auraient-elles été les mêmes si les nouvelles machines de Foxmeyer et les réorganisations qu'elles ont engendrées (changement sur le comportement interne) n'avaient pas été confrontées à de gros problèmes de pannes (aléa) ?

Le cas Roncadin souligne, pour sa part, le risque que constitue le choix d'un protocole sans tenir compte du contexte (type de marché). Sur ce même thème du VMI, J. Tyan et H-M. Wee (2003) expliquent, dans le contexte de l'industrie Taïwanaise, que les nombreux échecs (en terme de performance obtenue après implémentation du protocole) s'expliquent grandement par des comportements individuels et de marché très contraignants qu'il faudrait mieux intégrer au moment d'implémenter le protocole.

Pour résumer nous pouvons affirmer que l'évolution de la collaboration dans les chaînes logistiques, que nous venons de décrire, s'est traduite par l'apparition ou le développement de risques nouveaux qui doivent être pris en compte au niveau du système de pilotage de ces chaînes. Ces risques sont bien sûr liés aux *aléas* et donc à l'environnement (changements sur le marché ou des acteurs extérieurs à la chaîne, événements sur le flux physique,...). Ils sont aussi liés aux *protocoles* entre les différentes entités indépendantes au sein d'une relation, et liés aux *comportements* internes de chacune d'elles. De plus, leur traitement peut s'inscrire dans une logique de performance individuelle et/ou collective. Tous ces éléments décrivent des situations de décision auxquelles nous proposons d'apporter une aide.

### 3 Le processus de décision (pilotage de la chaîne) au cœur de nos préoccupations

#### 3.1 Plusieurs types de décision

En tant que système complexe évoluant dans un contexte incertain, la chaîne logistique peut-être analysée d'un point de vue systémique. Ceci nous conduit à distinguer trois sous-systèmes : le système opérant (ou processus opérationnel), le système d'information et le système de décision (ou processus de pilotage). Dans cette thèse nous allons plus particulièrement nous intéresser au processus de pilotage de la coopération au sein de la chaîne. Ces processus peuvent être assimilés à un ensemble d'activités de décisions. En complément de la classique mais incontournable décomposition temporelle (stratégique, tactique et opérationnelle), V. Giard (2003) précise que toutes ces décisions peuvent être également observées du point de vue émis par H. Simon (1960) pour qui deux types de décisions peuvent être distinguées :

- la *décision programmable* (ou structurée<sup>1</sup>), au sens où « elle est répétitive et routinière et où il existe une procédure précise pour la prendre en charge sans qu'il soit nécessaire de la considérer comme un cas nouveau chaque fois qu'elle est à prendre ». Il s'agit du cas typique de la révision d'un programme de production planifié à horizon glissant ;

<sup>1</sup> V. Giard (2003) explique que cette appellation a été proposée par Keen et Morton (1978) pour éviter la consonance informatique et se rapprocher de la « nature intrinsèque » du processus de décision

- la *décision non-programmable* (ou non-structurée<sup>1</sup>), au sens où à contrario, « elle est nouvelle, non structurée et importante ». Il s'agit, par exemple, de la décision d'un choix de fournisseur ou d'un changement dans le mode de fonctionnement avec l'un d'entre eux. Pour nous, le choix parmi les processus à utiliser et la définition de leurs paramètres font parti de cette catégorie.

Nous avons particulièrement retenu la différenciation sur la base de l'existence ou l'absence d'une « procédure » dédiée. Pour nous, l'existence d'une procédure peut être décrite comme le fait de disposer d'une aide à la décision automatisée ou pour le moins formalisée et maîtrisée pour chacune des décisions « programmables ». En revanche, pour les autres, le problème est alors différent, la complexité qui leur est associée (notamment le niveau d'incertitude) nécessite une aide à la décision spécifique.

### 3.2 Des décisions non programmables : le management de la coopération

Afin de cadrer notre contexte de recherche, nous distinguons trois niveaux de pilotage de la chaîne logistique (illustrés dans la Figure 1.2) :

- le *design de la chaîne* : ensemble des activités de décisions qui consistent à choisir les différentes entités à intégrer. Il doit également permettre de définir la stratégie en terme de positionnement sur un ou plusieurs marchés (décisions non programmables) ;
- le *paramétrage de la chaîne (ou management de la coopération)* : ensemble des activités de décisions qui doivent aboutir à l'intégration des différentes entités choisies et de leurs processus internes à l'intérieur de la chaîne. Il s'agit donc de définir ou de redéfinir chacune des relations constitutives de cette chaîne (notamment le choix et le paramétrage de tous les processus partagés) (décisions non programmables) ;
- *l'exploitation de la chaîne* : une fois les entités choisies et leurs processus internes (re)définis et reliés entre eux, la chaîne entre en « phase d'exploitation », les flux (matériels, informationnels et financiers) deviennent réels (souvent complexes) et il est nécessaire de les piloter. Ce pilotage induit un certain nombre de décisions sur des horizons temporels différents. Du point de vue interne, les processus de planification à horizon glissant de type MRP II ou à court terme de type JIT sont des exemples de processus de décisions associées à la phase d'exploitation. Du point de vue des processus partagés, il s'agira de décisions de type « quantités/dates » pour un processus d'approvisionnement classique à la commande, ou des décisions de type « quantités à livrer » pour une Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA)<sup>1</sup>.

La nuance est fine mais importante entre les niveaux « paramétrage » et « exploitation ». A titre d'exemple, si la détermination d'une quantité à commander (commande classique) ou à livrer (GPA) relève bien de l'exploitation, le choix de la mise en place d'un processus classique de commande à la place d'une GPA relève du paramétrage. En simplifiant, nous pourrions dire que l'exploitation met en œuvre des processus définis au paramétrage.

Au travers de ces travaux nous allons aborder la définition des processus de planification tactique mais surtout stratégique des entités impliquées dans une relation et leurs interactions et/ou connexions. Nous n'allons pas l'attaquer sous l'angle de la mise en œuvre (exploitation), décisions qui tendent à être programmables. Par contre, nous l'aborderons du point de vue des décisions, toutes non-programmables, qui, en amont, permettent de définir ces processus (objectifs,

---

<sup>1</sup> ou VMI (Vendor Managed Inventory)

contraintes, types d'entrée et de sortie, choix parmi des processus aux fonctions équivalentes...) qu'ils soient individuels ou partagés par les entités (paramétrage). Ce positionnement de nos travaux sur les activités de paramétrage de la chaîne est illustré dans la Figure 1.2.

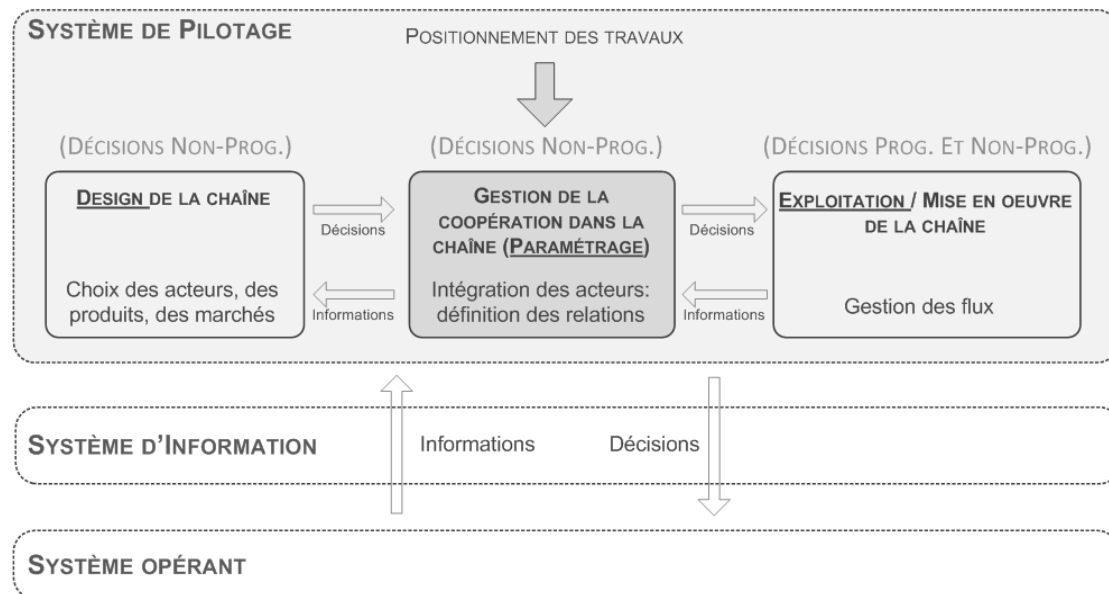


Figure 1.2: Vision du système de pilotage: plusieurs niveaux de décision

### 3.3 L'écueil de la « bonne pratique » révélateur d'une coopération complexe

Trop souvent, l'amélioration de la coopération se réduit à la mise en œuvre de bonnes pratiques, processus génériques qui transcrivent mal la diversité des échanges et des partages induits par la dite coopération et son contexte. A ce stade, nous ne souhaitons en aucun cas sous-estimer ou limiter la portée des retombées positives de ces bonnes pratiques et donc leur caractère incontournable. De nos jours, personne ne saurait nier les avancées permises par bon nombre de celles-ci : les historiques MRPII ou kanban ni les plus récentes VMI, CPFR ou cross-docking. Nous rappelons juste qu'au final, rien ne garantit que la mise en place de certains processus soit synonyme de progression pour la performance de la coopération. Nous n'inventerons donc rien en disant que c'est l'adaptation de la pratique qui la rend bonne. D'ailleurs, quel serait le rôle des consultants si cette difficile phase d'adaptation n'existait pas ? Mais qu'y a-t-il derrière cette adaptation ?

Pour nous, le management de la relation doit dépasser la seule préoccupation sur les processus partagés entre les entités. Plusieurs dimensions sont à prendre en compte pour pouvoir améliorer la coopération définie alors par :

- une « action collective et conjointe qui dépasse les limites individuelles » (compétences, ressources, etc.) et la « définition d'un objectif commun » qui doit coexister avec les objectifs individuels (Lauras et al., 2003). Cette régulation de deux objectifs potentiellement contradictoires traduit les motivations de chaque acteur à s'investir dans la relation et la faire évoluer. Ce sont les **moteurs** de la coopération ;
- des outils techniques et technologiques plus ou moins disparates qu'il faut être en mesure de faire communiquer au prix d'un certain niveau d'effort. Ce sont les **supports** de la coopération ;

- des **protocoles** qui cadrent la coopération et qui précisent comment s'établissent les flux entre les interfaces des acteurs impliqués (par exemple Gestion Partagée des Approvisionnements ou commandes classiques, partage de prévisions, règles de livraison ...). Dans tout le reste de ce manuscrit, le mot protocole sera utilisé pour décrire ces processus partagés entre des entités de la chaîne ;
- des **comportements** qui particularisent la coopération. Si le protocole relie les interfaces des acteurs, les comportements régissent la définition de leurs processus internes dont les résultats sont susceptibles d'alimenter certaines de ces interfaces. Dans tout le reste de ce manuscrit, le mot comportement décrira les décisions internes des acteurs : type de production (poussé/tiré), politique de gestion de la variation de capacité, de règles d'ordonnancement, de tailles de lots, de stock de sécurité ou de niveaux de couverture ... ;
- la prise en compte des **aléas** rencontrés et futurs qui animent la coopération (variabilité du marché, pannes, rebuts, catastrophes, accidents, ...) C'est bien l'occurrence d'aléas avérés et l'incertitude des aléas potentiels qui créent ce besoin en processus individuels comme partagés de plus en plus sophistiqués pour pouvoir traiter les risques induits. Les aléas et leurs perceptions par les différents décideurs jouent donc un rôle majeur dans la vie de la relation.

Cet aspect multidimensionnel explique pourquoi certains processus partagés ou individuels qualifiés de « bonnes pratiques » n'améliorent pas nécessairement la performance de la relation et/ou des acteurs impliqués. Le management de la coopération nécessite donc une aide à la décision dédiée. Compte tenu du manque de connaissance sur les aléas ou les comportements des autres décideurs impliqués dans la coopération, cette aide à la décision ne doit pas avoir la prétention de fournir la solution optimale pour chacun des choix à effectuer en terme de protocole et/ou de comportement. En revanche, elle doit jouer un rôle majeur dans la levée d'un certain nombre de freins au développement de la coopération.

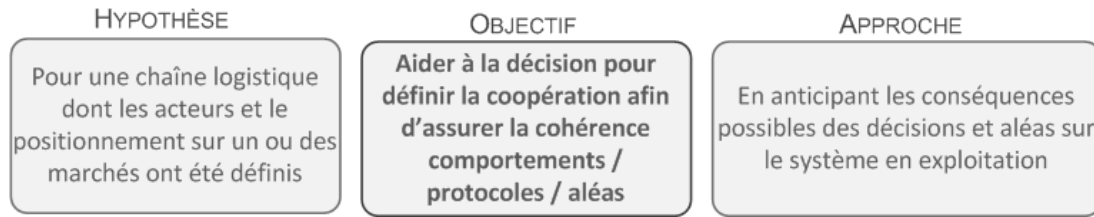
## 4 Problématique

Dans le cadre de ce travail, nous allons chercher à répondre à la problématique suivante (et illustrée dans la Figure 1.3) :

Pour une chaîne logistique distribuée dont les parties prenantes et le positionnement sur le marché sont définis,

Nous cherchons à proposer :

- une aide à la décision en matière de gestion de la coopération dans la chaîne, définie comme l'union d'un ensemble de protocoles entre les entités et de comportements internes à chacune d'elles ; entités qui doivent faire face à un certain nombre d'aléas potentiels dont l'occurrence et l'impact sont incertains et dont la perception peut varier d'un acteur à un autre,
- avec une approche,
  - qui place le management des risques au cœur du processus de décision,
  - à partir d'un outil de simulation à événements discrets de l'exploitation de la chaîne comme outil de prospection afin d'évaluer l'impact de certains risques mais aussi celui de certains leviers mis en œuvre dans le but de les traiter.



**Figure 1.3 : Notre problématique**

Pour répondre à notre problématique, un double besoin a donc été identifié :

- (B<sub>1</sub>) être capable de représenter et simuler une partie du processus de décision (processus d'aide à la décision par le management des risques), afin d'aider le décideur à améliorer sa connaissance de la situation de décision à laquelle il est confronté, situation profondément liée à sa propre attitude face aux aléas mais aussi à celles des autres acteurs ;
- (B<sub>2</sub>) être capable de représenter et simuler la mise en œuvre de certaines décisions afin d'en évaluer les conséquences (simulation de l'exploitation de la chaîne) et de pouvoir aider le décideur à projeter et donc à évaluer ses choix sur le système réel futur.

Les apports de la présente thèse, qui est à l'intersection des problématiques de collaboration dans les chaînes logistiques et du management des risques, peuvent être décomposés en deux axes suivant les deux besoins identifiés :

- extension des fonctionnalités d'un outil de simulation de l'exploitation de la chaîne, développé dans le cadre de la thèse de J. Mahmoudi (2006), pour le secteur de la téléphonie. Cet outil, nommé LogiRisk, est un simulateur de protocoles et de comportements de planification dans une chaîne logistique ;
- proposition d'une démarche d'aide à la décision pour la gestion de la coopération dans la chaîne (paramétrage). Cette démarche est basée sur un processus de management des risques et s'appuie sur un outil de simulation du processus de décision, nommé Trisk.

Avant toute chose, nous précisons que ces travaux n'aborderont pas tous les freins à la coopération existants. Par exemple, ne seront pas traités les freins techniques, technologiques ou conceptuels ni les freins liés à l'aspect social de la relation (au sens rôle des pouvoirs sur les moteurs de la relation).

Pour les trois premiers nous renvoyons vers le domaine de recherche lié à l'interopérabilité définie comme « la capacité des systèmes, nativement étrangers les uns par rapport aux autres, à interagir afin d'établir des comportements collectifs harmonieux et finalisés, sans avoir à modifier en profondeur leur structure ou leur comportement individuel » (Pingaud, 2009). D. Chen (2006), explique que le développement de l'interopérabilité<sup>1</sup> entre entités doit passer par « le développement de connaissances et de solutions pour lever les incompatibilités » regroupées en trois barrières majeures : conceptuelles (des acteurs qui parlent des mêmes choses avec les mêmes mots) (Touzi et al., 2009), technologiques (des SI reliés entre les acteurs sans effort pour chacun d'entre eux) et organisationnelles (des processus internes et partagés compatibles et un certain niveau d'entente sur des objectifs globaux qui ne pénalise ne mettent pas en péril les individualités) (Rajsiri et al., 2010).

<sup>1</sup> D. Chen (2006) présente plusieurs niveaux d'interopérabilité (intégré, unifié, fédéré). Il précise également qu'elle peut être déclinée sur plusieurs niveaux de l'entreprise (business, processus, service, donnée). Ajoutées à la notion de barrières, ces deux dernières constituent les trois dimensions de l'« Enterprise Interoperability Framework ».

La question du pouvoir et des intérêts dans les moteurs de la relation sera, elle, du ressort de travaux associés à la théorie des jeux. Les différentes formes de jeux qui y sont décrites et les recherches d'équilibre sont autant de solutions pour traiter la problématique de l'influence du pouvoir et des intérêts sur des décisions communes/individuelles, simultanées/séquentielles.

En revanche, il reste, selon nous, un frein majeur au développement des coopérations : un frein humain. Par frein humain nous entendons le fait que toutes les décisions, qu'elles soient individuelles (comportement) ou partagées (protocole), relèvent de l'attitude du décideur ou du groupe de décideurs face à l'aléa et son incertitude. Pour un même décideur deux perceptions différentes d'un même aléa peuvent faire varier le choix et donc entraîner des conséquences opposées. Le premier niveau d'aide à la décision consiste donc à informer le décideur sur de telles situations.

De plus, il faut admettre que les protocoles et les comportements sont autant de variables de décisions qui ne sont potentiellement pas portées par les mêmes entités et qui pourront n'être fixées que plus tard. Des perceptions différentes (par nature subjectives) des aléas potentiels, si ce n'est opposées, peuvent entraîner des attitudes (des décisions) aux conséquences néfastes pour la performance de la relation et/ou des entités la composant. Bien sûr, pourquoi ne pas envisager qu'il soit possible d'aligner les perceptions du risque chez tous les acteurs. Néanmoins, en dehors du cas des chaînes logistiques portées par un même groupe<sup>1</sup> cela semble difficile. Si les visions ne peuvent s'accorder, pourquoi ne pas commencer par accepter que l'autre peut ou pourra agir différemment. L'aide à la décision consistera donc à informer le décideur sur les attitudes à adopter non seulement en fonction de sa propre attitude face au risque mais aussi celle des autres.

## 5 Organisation du manuscrit

Nous avons intitulé nos travaux : « Management des risques pour l'aide à la gestion de la coopération au sein d'une chaîne logistique : une approche par simulation ». Ici, nous nous proposons de présenter le plan de ce manuscrit au travers des questions soulevées par les termes utilisés dans ce titre.

### 5.1 Notre vision de la coopération (Introduction générale)

« ...*gestion de la coopération au sein d'une chaîne logistique...* » Dans ces travaux, l'utilisation du terme coopération se veut volontairement large et couvrant un large panel de concepts et de notions sans distinction aucune avec les collaborations, coordinations et autres coopérations. Le but ici est d'analyser certaines composantes caractéristiques d'une coopération. Parce que celle-ci ne se définit ni ne s'analyse uniquement au travers des termes des contrats établis, mais plutôt parce que ces contrats s'inscrivent dans un contexte particulier fait d'aléas, d'échanges d'informations plus au moins formalisés, pertinents ou efficaces, et de jeux de pouvoirs où chacun cherche à imposer ses contraintes à l'autre, nous définissons la coopération autour de trois notions clés : les protocoles (processus partagés) qui cadrent la relation, les comportements (processus individuels des entités) qui particularisent la relation, et les aléas qui rythment la vie de la relation.

---

<sup>1</sup> Ce que certains qualifient de chaînes logistiques internes

## 5.2 Risque et décisions, quelle aide ? (Chapitre 1)

« *Management des risques...* ». Puisque la coopération est vivante et évolue au gré des aléas internes comme externes, des décisions des acteurs qui la composent ou des protocoles qui en définissent les échanges, celle-ci est caractérisée par un certain degré d'incertitude quant à son niveau de performance. Le management de cette relation s'inscrit donc constamment dans une double démarche : les décisions qui en découlent doivent à la fois répondre à une situation avérée mais aussi, pour certaines, préparer également les situations futures et/ou potentielles (ou au moins ne pas trop les compromettre).

Compte-tenu des enjeux financiers, humains, stratégiques ou matériels, une partie des activités de management de la coopération consiste donc à assimiler le contexte, les enjeux et les évolutions potentielles pour anticiper et soigner la performance future. Cette formulation traduit en fait une réalité quotidienne des décideurs : la séparation du temps de la décision et de celui de l'observation de ses conséquences. Cette séparation et le degré d'incertitude, qu'elle introduit, contribuent à complexifier la situation de décision qui consiste à préparer le système aux risques futurs.

Mais pour autant, la prise de certaines décisions ne peut être repoussée éternellement sous peine de n'être réduite qu'au simple rôle de spectateur et de subir les conséquences rendues inévitables. Le décideur est donc « acteur ». Ses choix peuvent avoir des effets mesurables sur lui et/ou les autres. Le terme « acteur » qui sera employé dans toute la suite de ces travaux relève de cette vision. Par ses comportements et/ou les aléas qu'il subit ou génère, l'acteur joue un rôle dans la chaîne.

Au final, les risques se « prennent », « s'assument » ou se « refusent » reflétant par là même le caractère subjectif de toutes les décisions qui leurs sont associées. Dans la majorité des cas, ces décisions sont supportées par des démarches « rationnelles » ou, du moins, « réfléchies » pour identifier, évaluer et traiter les risques. Dans le chapitre 1, nous reviendrons donc sur la notion de décision en tant que démarche intellectuelle et nous nous poserons la question de son lien avec la notion de risque avant de faire un bilan sur les démarches de management des risques existantes dans le domaine du management des chaînes logistiques.

## 5.3 Démarche de modélisation et simulation de l'exploitation de la chaîne logistique (chapitres 2 et 3)

« ...*simulation*... ». Selon nous, le management de la coopération implique une certaine part de management des risques. Afin d'anticiper les conséquences possibles de certaines situations, il importe donc d'être capable de représenter et d'évaluer les conséquences en exploitation d'éventuelles décisions ou aléas sur la relation. La modélisation puis la simulation de l'exploitation de la chaîne comme outil de prospection s'inscrit donc parfaitement dans cette démarche d'évaluation a priori (Tahon, 2003). Elle permet d'explorer rapidement et à moindre coût différents scénarios d'évolution. Les effets des choix, des événements et de leurs interactions peuvent donc être mesurés.

Néanmoins, il convient de s'assurer du modèle et des hypothèses associées sur lesquels repose la simulation. Nous présenterons donc, dans le chapitre 2, un état de l'art sur les notions de modèles et de simulations dans le contexte du management des chaînes logistiques. Le chapitre 3 s'intéressera à l'outil de simulation proposé. Ce dernier a été créé dans le cadre de la thèse de J. Mahmoudi (2006) pour l'industrie de l'électronique. Au travers de nos travaux, nous nous efforcerons de présenter le fonctionnement général de l'outil, ses hypothèses, ses fonctionnalités initiales et celles qui ont été développées au cours de la présente thèse.



## 5.4 Aide à la décision pour la gestion de la coopération (Chapitre 4)

« ...*aide à la gestion de la coopération*... ». Aide à la décision... tels étaient les premiers mots au moment d'entamer notre réflexion sur la formalisation de la problématique. Néanmoins, nous l'avons vu, la notion de coopération s'étend au-delà des simples décisions qui peuvent être prises entre les acteurs de la chaîne. Il faut prendre également en compte les comportements internes à chaque acteur ainsi que les différents aléas et les attitudes de chacun des acteurs face à eux. C'est cette complexité qui est derrière l'expression « aide au management ». Pour garder l'expression « aide à la décision », il aurait donc fallu préciser « aide aux décisions prises dans le cadre de la gestion de la coopération... ».

Cette aide au paramétrage des relations fait ici référence à l'intégration de la simulation au cœur d'une démarche formalisée de management des risques. Nous nous efforcerons donc à présenter les outils et méthodes développés et/ou utilisés pour modéliser les processus de décisions afin d'informer de manière pertinente le décideur au moment de son choix (par simulation du processus de décision). La prise de décision est un processus marqué par la subjectivité du décideur. Les outils et méthodes doivent donc intégrer cette subjectivité sous toutes ses formes : (i) les préférences relatives aux indicateurs de performances sur lesquels se base la décision, (ii) la perception sur la possibilité de l'occurrence d'un aléa, et (iii) les préférences en termes de choix des autres décisions à prendre en compte et de séquence générale de l'ensemble des décisions et aléas identifiés. Au chapitre 4, il s'agira alors de présenter la méthodologie de management des risques proposée.

## 5.5 Application de la démarche : cas Pierre Fabre (chapitre 5)

Le dernier chapitre devra nous permettre de présenter la mise en œuvre de notre démarche sur un cas d'application industriel. Ce cas d'étude a fait l'objet d'un projet de « collaboration » avec un industriel du secteur de la santé : le Groupe Pierre Fabre et sa branche Dermo-Cosmétique.

Celui-ci a instauré plusieurs types de relations avec ses fournisseurs de produits de conditionnement. Aujourd'hui, il est entré dans une stratégie de généralisation d'un nouveau protocole en remplacement du traditionnel passage de commande. Avant de poursuivre, cette mise en place sur la totalité des relations entretenues avec ses fournisseurs, il souhaite savoir si ce nouveau protocole reste pertinent malgré certaines sources de risques telles que la variabilité des besoins qu'il exprime ou certaines caractéristiques du fournisseur. En effet, les besoins d'approvisionnements (prévisionnels et réels) qu'il génère sont soumis à une forte variabilité imputable aux fluctuations du marché mais aussi à ses propres processus de planification (comportements). De plus, il se retrouve confronté à de nombreux fournisseurs aux comportements individuels spécifiques. Au final, il s'agira alors pour nous de l'aider à évaluer la sensibilité de son choix pour des contextes particuliers et des attitudes différentes face aux risques.

## 5.6 Synthèse : vision générale de l'approche

Pour conclure cette introduction générale, nous présentons également un schéma global qui se veut une synthèse des différents propos tenus jusqu'ici. Cette Figure 1.4 reprend les éléments sur le positionnement du niveau de décision et sur la problématique illustrée dans la Figure 1.2 et la Figure 1.3. Sur cette base et à partir des besoins identifiés à la section 3 ( $B_1$  et  $B_2$ ), elle représente ensuite la structure logique de notre démarche ainsi que les différents chapitres au travers desquels elle sera exposée dans ce manuscrit et qu'il convient désormais de préciser...

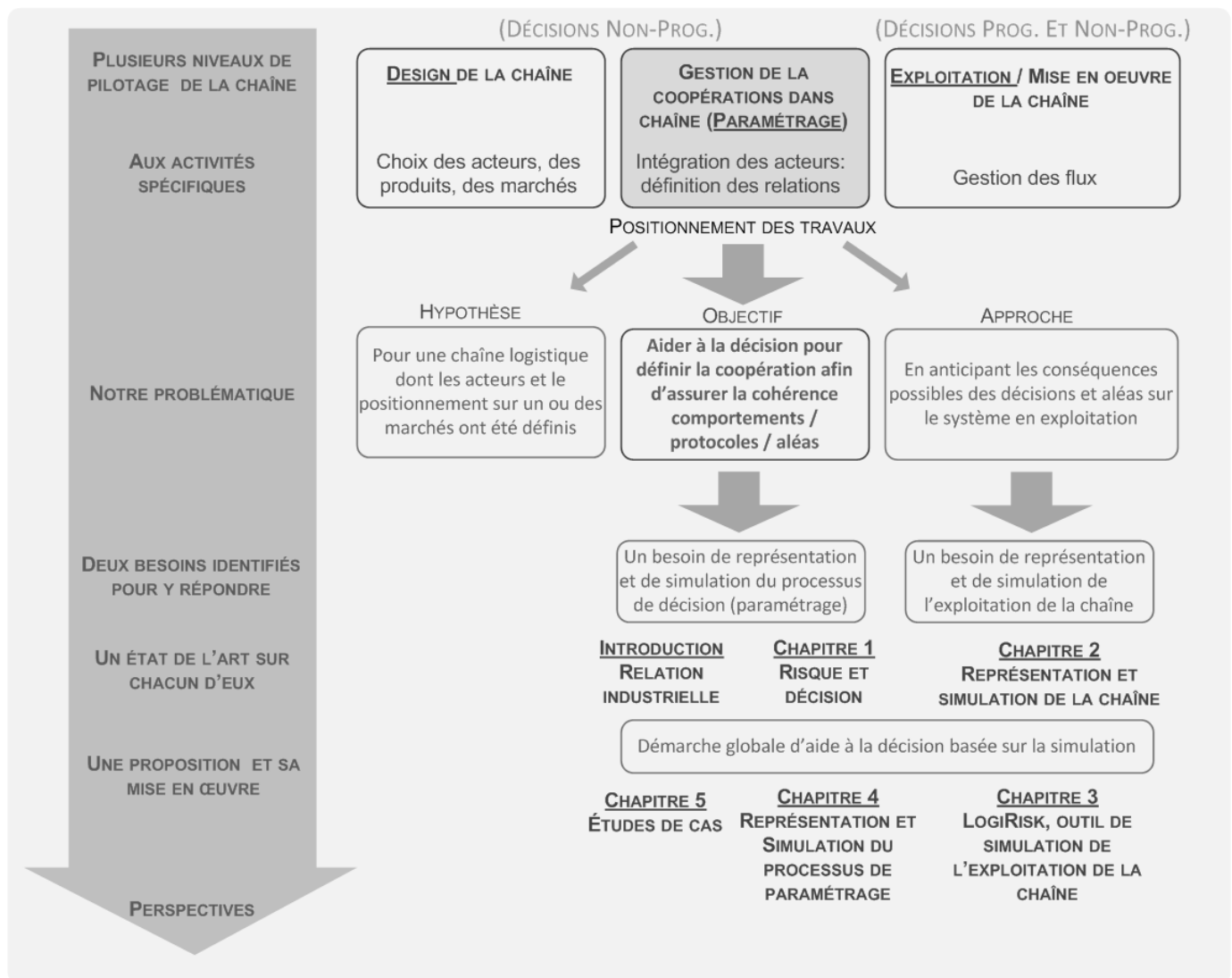


Figure 1.4: Positionnement de notre problématique et structure logique de notre démarche

## RESUME

Ce chapitre constitue l'introduction de ce manuscrit. Il décrit le positionnement de nos travaux qui s'attachent à aider à la décision dans le cadre de la gestion de la coopération au sein des chaînes logistiques. Le mot coopération est ici pris au sens large pour décrire les relations plus ou moins intense qui s'établissent entre les différents acteurs de la chaîne. Cette intensité cache une problématique multidimensionnelle forte, puisqu'elle porte, entre autre, sur le degré de confiance entre les acteurs, sur leurs capacités de communication (technologique ou conceptuelle), ou sur le degré d'interaction de leurs processus de pilotage. C'est cette dernière dimension qui fait l'objet de notre proposition. Face à cette complexité, nous pouvons distinguer trois types de décisions parmi les décisions relatives au pilotage de la chaîne : décisions relatives au choix des partenaires et du positionnement du marché (« design » de la chaîne), décisions relatives à définition des processus à l'intérieur de la chaîne (partagés et individuels) (« paramétrage » de la chaîne) et, enfin, décisions relatives à la gestion des flux réels (« exploitation » de la chaîne).

Cette thèse propose d'apporter une aide à la décision pour la phase de paramétrage dont le rôle majeur est d'assurer une pertinence entre les trois déterminants de la coopération : les *protocoles* qui la cadrent (processus partagés), les *comportements* qui la différencient (processus individuels) et les *aléas* qui l'animent. C'est ce manque de pertinence qui est l'origine des nombreux échecs de la mise en place de « bonnes pratiques » censées améliorer la performance de la chaîne et de ses parties prenantes.

Pour éviter cela, l'aide à la décision que nous allons chercher à proposer repose sur une approche de management des risques basée sur leur identification, évaluation et traitement. Notre apport se situe au niveau d'une double utilisation de la simulation et de la méthodologie associée.

La première est une simulation de l'exploitation de la chaîne, afin d'évaluer l'impact d'aléas et de décisions individuelles ou collectives (protocoles, comportements). Nous reviendrons donc sur les travaux existants sur le sujet (simulation à événements discrets à base d'agents) au chapitre 2 avant d'exposer notre modèle au chapitre 3. Ce modèle constitue un développement du modèle proposé par J. Mahmoudi (2006).

La seconde est une simulation du déroulement du processus de décision de la phase de paramétrage de la chaîne. Cette phase cherche à anticiper des résultats d'une décision en fonction de l'attitude des parties prenantes face aux risques. Pour cela, nous analyserons les concepts de décisions et de management des risques au chapitre 1 avant de décrire la démarche proposée au chapitre 4.

Enfin, l'application de cette démarche globale de management des risques pour aider à la coopération dans les chaînes logistiques sera illustrée au chapitre 5 sur un cas d'étude industriel.

# **PARTIE I : ETAT DE L'ART**



# Chapitre 1

## Prise de décision et management des risques, application au management des coopérations

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>COMPRENDRE ET REPRESENTER LA DECISION, UNE AFFAIRE DE PARADOXES... ..</b>	<b>23</b>
2.1	LA DECISION, L'HOMME DANS SON ENVIRONNEMENT ET SA RELATION AU TEMPS .....	23
2.2	LES APPORTS DES MATHEMATICIENS ET ECONOMISTES (THEORIE DE LA DECISION).....	25
2.2.1	<i>La décision dans le risque (ou sous le risque) .....</i>	<i>26</i>
2.2.2	<i>La décision dans l'incertain (1/2) : l'utilité espérée subjective .....</i>	<i>27</i>
2.2.3	<i>La décision dans l'incertain (2/2) : critères non probabilistes .....</i>	<i>28</i>
2.2.4	<i>Une représentation de la mise en œuvre de décisions : l'arbre de décision.....</i>	<i>32</i>
2.3	LE FACTEUR HUMAIN (APPROCHE COGNITIVE) .....	34
2.3.1	<i>Théorie comportementale de la décision .....</i>	<i>34</i>
2.3.2	<i>Théorie du jugement social et théorie fonctionnelle de la cognition.....</i>	<i>35</i>
2.4	BILAN : QUELLE AIDE POUR LA DECISION ? .....	36
<b>3</b>	<b>RISQUE ET DECISION, LES INSEPARABLES : CAS DU MANAGEMENT DES RELATIONS INDUSTRIELLES .....</b>	<b>37</b>
3.1	LA NOTION DE RISQUE .....	37
3.2	LE PROCESSUS DE MANAGEMENT DES RISQUES .....	39
3.3	LA MANAGEMENT DES RISQUES POUR LE MANAGEMENT DES CHAINES LOGISTIQUES (SCRM) .....	41
3.3.1	<i>Identification .....</i>	<i>42</i>
3.3.2	<i>Evaluation.....</i>	<i>45</i>
3.3.3	<i>Traitement.....</i>	<i>46</i>
<b>4</b>	<b>DISCUSSION SUR L'APPROCHE ET CADRAGE DE L'ETUDE.....</b>	<b>59</b>
4.1	PRECISION SUR LA REPRESENTATION DE LA DECISION .....	59
4.2	NOTRE APPROCHE DU MANAGEMENT DES RISQUES .....	60
4.2.1	<i>Identification .....</i>	<i>60</i>
4.2.2	<i>Evaluation.....</i>	<i>61</i>
4.2.3	<i>Traitement.....</i>	<i>61</i>
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>61</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>63</b>

# Chapitre 1

## Prise de décision et management des risques, application au management des coopérations

### 1 Introduction

« Depuis Descartes, incertitude et raison ne font pas bon ménage. L'action rationnelle est devenue l'approche réservée à l'action déterminée entièrement par une vérité connue et démontrable » (Hayek, 1973). C'est avec ces mots que F. Hayek s'insurge contre l'omniscience des agents économiques et contre la règle selon laquelle l'action en économie est fondée sur une décision basée sur le calcul<sup>1</sup>. En témoignage le prix Nobel d'économie qui lui est décerné en 1974, les travaux de F. Hayek ont marqué la riche histoire des connaissances théoriques sur la prise de décision. Néanmoins, nous aurions pu débiter cette introduction par bon nombre des propos empruntés à tous ceux qui ont contribué à mieux comprendre et anticiper les décisions individuelles comme collectives. Des échanges entre B. Pascal et P. de Fermat à ceux de L.J. Savage et M. Allais, les théories sur la décision se sont succédées et enrichies ouvrant ce riche débat aux psychologues et autres psychophysiciens en plus des historiens mathématiciens et économistes.

Le choix de citer les travaux F. Hayek n'est pas non plus complètement anodin, car associés à ceux de J. Keynes et de F. Knight, ils marquent, pour beaucoup, le passage en économie de la vision « néoclassique » à une vision moderne où « l'incertitude est indissociable de la vie économique » (Moureau and Rivaud-Danset, 2004). Mais justement, comment décider, c'est à dire « comment traiter des informations en vue de choisir une action permettant d'aboutir à un résultat recherché alors même que l'incertitude existe ? » (Cadet and Chasseigne, 2009). Dans le cadre de nos travaux, cette question peut facilement être entendue comme la situation d'un acteur d'une chaîne logistique au moment de devoir définir ses relations industrielles (décisions sur les protocoles, comportements à mettre en œuvre).

Dans ce chapitre, nous nous pencherons donc sur les questions de la décision, du risque et de l'incertitude, mots passés aujourd'hui dans le langage courant mais dont l'utilisation demande à être définie tant, pour chacun d'entre eux, les concepts associés se sont enrichis et différenciés avec le temps et les cultures. Le cadre défini alors devra permettre d'aborder le sujet de la gestion de la coopération dans les chaînes logistiques.

Pour cela, une première partie (section 2) s'attachera à donner différents points de vue développés dans la littérature sur la notion de décision. Sans jamais prétendre à retransmettre l'intégralité des apports sur le sujet, cette partie se veut être un bilan rapide sur les travaux de deux disciplines sur ces deux sujets : l'économie (et mathématiques) d'un côté et la psychologie de l'autre, afin d'en comprendre les principaux fondements, critiques et relations. Avec cette ouverture de la réflexion sur le comportement humain (psychologues), notre but est au final d'essayer de situer la notion d'aide à la décision au milieu de deux courants forts que nous qualifierons de normatif et descriptif suivant la distinction proposée par A. Berthoz (2003). Par

---

<sup>1</sup> deux principes présentés comme caractéristiques de la pensée « néoclassique » en économie (Moureau and Rivaud-Danset, 2004)

approche normative, nous entendrons la question du « comment on devrait procéder », par descriptive celle de la « description des processus grâce auxquels nous prenons nos décisions ».

La section 3 reviendra plus particulièrement sur la notion de risque qui apparaît indissociable de toute décision. Après avoir abordé la question de manière générale, il s'agira surtout de s'interroger sur le management des risques dans le management des chaînes logistiques (Supply Chain Risk Management, SCRM), et plus particulièrement de se poser la question du management des relations industrielles en ces termes.

## 2 Comprendre et représenter la décision, une affaire de paradoxes...

### 2.1 La décision, l'Homme dans son environnement et sa relation au temps

Avant de rentrer dans les détails « mathématiques » de sa représentation, puisque la décision est avant tout une affaire d'Homme, attardons nous tout d'abord sur un point de vue un peu plus général et tentons une première incursion chez les spécialistes de l'étude de l'Homme et de son comportement en situation de décision.

« Il y a conduite de prise de décision, chaque fois qu'une personne se trouve en présence d'actions concurrentes et qu'il lui appartient d'opter exclusivement pour l'une d'entre elles » (Cadet and Chasseigne, 2009). Nous ferons ici l'hypothèse que le refus de la totalité des options possibles est un choix à part entière. Nous nous rangeons de ce fait du côté de ceux qui comme B. Jarrosson (1994) pensent que « la décision s'impose à nous pour une raison logique élémentaire : ne pas décider est une façon de décider. La décision n'a pas d'inverse, refuser de décider est une forme de décision qui peut avoir son intérêt<sup>1</sup> » ou non<sup>2</sup>.

Il semble donc que pour certains auteurs (Berthoz, 2003; Cadet and Chasseigne, 2009) la décision s'apparente d'abord à un choix. Ce choix final, qu'ils appellent « l'acte »<sup>3</sup>, traduit une rupture au sortir de la séquence d'opérations mentales dont il est l'aboutissement. Cette rupture entre les phases de « réflexion » et « d'action » se retrouve d'ailleurs dans l'étymologie du mot, puisqu'il provient du latin *decidere* associé aux verbes rompre ou couper. Ceci fait dire à A. Berthoz (2003) qu'à l'origine de toute décision ne sont ni la raison, ni l'émotion mais l'acte vu comme « l'intention d'interagir avec le monde ». Pour cela, l'acte est « toujours poursuite d'un but » et « soutenu d'une intention » qui en font « l'organisateur du monde perçu ». Le cerveau est alors considéré comme « un simulateur d'actions, un générateur d'hypothèses » pour qui « anticiper et prédire les conséquences des actions [...] est l'une de ses propriétés fondamentales ». La vision du cerveau comme comparateur entre l'état du monde et ses propres hypothèses est forte. Le cerveau ne fait pas que répondre mécaniquement et logiquement à des stimuli extérieurs<sup>4</sup>. Il les

<sup>1</sup> B. Jarrosson (1994) cite le conte de la femme de Bath (contes de Canterbury, de G. Chaucer 1478) pour illustrer l'intérêt de « refuser la règle du jeu », comportement qui valut une fin heureuse au chevalier alors que les choix qui s'offraient ne lui étaient que de peu de valeur.

<sup>2</sup> En dehors de nombreux exemples concrets, nous renverrons plutôt vers la distinction de J-P. Boutinet (1990) entre deux visions du temps : le *temps circulaire* « caractérisé par sa répétition, les faibles changements qu'il induit, le souci de valoriser ce qui est déjà fait [...] conçu comme un temps agraire, parce que directement lié au cycle des saisons, au rythme de la nature », temps de la « pensée médiévale marquée par le temps répétitif, où le présent se veut la réactualisation d'un passé considéré comme jamais révolu ». Les hommes se sont peu à peu détourné de ce temps pour un nouveau temps « celui-là cumulatif, le *temps linéaire* », qui est le temps de « l'irréversibilité ». Or, ce temps là peut ne pas s'accommoder d'une remise à plus tard de la décision.

<sup>3</sup> Il est à noter que ces auteurs différencient l'acte de décision (le choix est effectué) de son exécution (les conséquences peuvent en être mesurées), deux phases potentiellement éloignées (voir plus loin dans ce chapitre).

<sup>4</sup> Tout type de réponse est possible, de la réponse motrice au sentiment



perçoit en fonction d'une mémoire du passé<sup>1</sup> et d'un projet, ce qui fait de la perception un premier pas dans la décision (« la perception est décision »). En dégageant de la masse d'informations disponibles, les plus pertinentes, la perception est sélection et dépasse donc le simple stade de la collecte, de la combinaison ou de la pondération. Ancrée dans une histoire et un projet, la prise de décision est alors définie comme le moyen de « lier le présent au passé et au futur ».

Ceci fait de la nécessité de « savoir pour prévoir » le « leitmotiv de notre modernité » décrit par J.-P. Boutinet (1990) pour souligner ce souci d'anticipation en vue de faciliter les adaptations à un environnement sans cesse mouvant caractérisé par l'irruption de l'imprévu. Devenu, préoccupation quotidienne, « le futur est l'anticipation de ce que demain sera » et donc l'enjeu de décisions du présent. Les formes d'anticipation (projet, prévision, planification,...) sont diverses et marquées de « glissements sémantiques capricieux », souvent utilisées les unes pour les autres, parfois confondues, parfois opposées. Si l'analyse de ces glissements ne constitue pas l'objet de cette étude, nous pouvons néanmoins reprendre le point de vue de J.P. Boutinet pour qui « projet » et « prévision » sont deux formes distinctes d'anticipation. Si le projet s'appuie sur la prévision pour connaître l'état futur vraisemblable, ce n'est que pour mieux chercher à positionner l'individu ou le groupe par rapport à cet état. Si la prévision a donc une unique dimension prospective vis à vis de ce futur par nature incertain, le projet cherche, lui, à le transformer et/ou en retirer une forme d'avantage ou de gain. Il est rejoint en cela par B. Jarrosson (1994) pour qui la prise de décision est au confluent de deux mouvements « contradictoires » : accepter l'état actuel du monde, « en ce sens qu'on admet qu'il est ce qu'il est », et le nier, « en ce sens qu'on ne veut pas qu'il reste ce qu'il est », compte tenu de notre projet.

Qu'elle porte sur le passé ou le futur, tout cela confère donc à l'information et son interprétation une importance majeure dans la prise de décision. Ceci est le point de départ d'une distinction forte de B. Jarrosson (1994) pour qui « dès qu'il y a calcul, il n'y a plus décision. La décision commence là où cesse la calcul ». Il peut ensuite distinguer deux types de problèmes : ceux dont « les solutions sont contenues dans les données » et ceux où elles ne le sont pas. Les premiers possèdent une bonne solution (la solution optimale), dont l'obtention ne dépend pas de la personne mais de la méthode ou de la technique mise en œuvre. Le meilleur décideur apparaît, dans cette situation, être le meilleur technicien. En revanche, les problèmes du second type possèdent des « bonnes solutions mais aucun critère pour désigner la meilleure » où la solution dépend de celui qui décide, de sa sensibilité, de sa créativité ou de sa méthode. A partir de là, B. Jarrosson peut établir la différence entre la *gestion* qui consiste à résoudre les premiers problèmes (calculatoires, « la gestion est exercice de la rationalité ») du *management* qui est relatif au traitement de problèmes du second type.

Au final, il est possible de dire que le terme prise de décision désigne une série d'opérations mentales de différentes natures qui consistent à traiter<sup>2</sup> des informations différentes perçues en rapport avec la situation actuelle, passée et future. Au regard, des travaux analysés (Jarrosson, 1994; Sfez, 2004; Cadet and Chasseigne, 2009), ces opérations peuvent être structurées autour de quatre grandes phases :

- *l'évaluation* ou *prise d'information*. Cette activité consiste à rechercher, recueillir et évaluer les informations pertinentes B. Cadet et G. Chasseigne (2009) parlent de cette perception comme une « démarche active ». Notons que l'évaluation ne réfère pas obligatoirement à une quantification mais doit aboutir au minimum à une

<sup>1</sup> J.-P. Boutinet (1990) explique qu'on ne peut pas avoir conscience de tout son passé, de toute son expérience au moment présent et cite Freud pour étayer ses propos : « [...] mon expérience antérieure ne m'est pas, à l'instant, entièrement disponible. Souvent une bonne partie de cette expérience m'échappe, m'est absente. ». Pour lui, le propre de notre histoire, « parce qu'elle nous échappe, est d'être lacunaire [...] le passé est toujours vécu sous l'angle d'une reconquête,... »

<sup>2</sup> La question du mode de traitement « en série » ou « en parallèle » semble encore faire débat (Berthoz, 2003)

opinion. Pour illustrer cela, ils prennent l'exemple d'un trafic routier qu'un conducteur est capable d'estimer sans avoir à compter toutes les voitures ou encore la force d'un coup de vent ;

- le *jugement* ou délibération. Si l'évaluation se veut du registre de « l'ouverture » (« aussi large que possible »), le jugement cherche lui à synthétiser, « à caractériser la situation à l'aide d'une valeur unique » (le mot valeur est à prendre au sens large). Il s'agit de l'étape d'intégration des informations. Bon nombre des travaux présentés plus loin s'attacheront à représenter le fonctionnement de cette phase ;
- *l'acte* ou *décision*. Résultat du jugement où une éventualité (une option) est choisie<sup>1</sup> ;
- *l'exécution*. Mise en œuvre « physique » ou application de la décision, cette phase n'est pas tout le temps citée. Nous l'avons conservé ici car si tous les auteurs n'en parlent pas, la plupart conviennent de son rôle essentiel pour juger de la qualité de la décision qui a été prise en amont. (« Une bonne décision, c'est clairement une décision qui entraîne de bons résultats, et vous ne pouvez évaluer cela que dans un contexte bien défini » propos de H. Simon dans (Crozier, 1993)).

Par conséquent, c'est l'interprétation de l'information précédant l'action qui « rend pertinente la démarche » (Jarrosson, 1994). Au sens des termes définis juste avant, c'est donc sur les deux premières phases que portent l'essentiel des intérêts, confirmant ainsi les dires de J.G. March (1989) pour qui « c'est l'interprétation, non le choix, qui est spécifiquement humaine ». C'est justement le côté humain et donc faillible que mettra en avant H. Simon avec sa désormais célèbre « rationalité limitée » (« Bounded Rationality ») (Simon, 1955)<sup>2</sup>. Pour lui, il faut aller à l'encontre de l'idée que l'individu dispose de toute l'information pour prendre la décision optimale (l'omniscience évoquée en introduction). La prise de décision se fonde au contraire sur des informations incomplètes quant aux options possibles et à leurs conséquences. Le décideur ne cherche donc pas la décision optimale mais se contente de la première décision acceptable qu'il peut choisir.

Mais comment s'opère ce choix ? En d'autres termes, comment sont jugées les alternatives possibles ? Cette phase de jugement a inspiré de nombreux travaux souvent associés à deux disciplines majeures : l'économie<sup>3</sup> et la psychologie. Ici, nous assimilerons les apports des premiers à la Théorie de la Décision (« systèmes formels ») alors que les seconds opéreront pour une Approche qualifiée de Cognitive (« étude des conduites et expérimentations »).

## 2.2 Les apports des mathématiciens et économistes (Théorie de la Décision)<sup>4</sup>

Nous avons débuté ce chapitre en soulignant le rôle des travaux de F. Knight. Ici, nous retiendrons plus particulièrement l'importance de sa distinction entre risque et incertitude (Knight, 1921)<sup>5</sup> : « La différence pratique entre les deux catégories, le risque et l'incertitude, est que, s'agissant de la première, la distribution du résultat parmi un ensemble de cas est connue (soit par le calcul a priori, soit par des statistiques fondées sur les fréquences observées) tandis que

<sup>1</sup> Dans toute la suite, pris seul, le mot « décision » sera réservé à la phase « d'acte » alors que les expressions « processus de décision » ou « prise de décision » référeront à l'ensemble des opérations décrite ci-avant.

<sup>2</sup> « chaque organisme humain vit dans un environnement qui produit des millions de bits de nouvelles information chaque seconde mais[...] l'appareil de perception n'admet certainement pas plus de 1 000 bits par seconde et probablement moins »

<sup>3</sup> Inclut les mathématiciens, statisticiens, informaticiens...

<sup>4</sup> Dans cette partie, nous nous contenterons de citer les principaux travaux et d'en expliciter les idées importantes. Pour plus de détails nous renvoyons vers (Bouyssou et al., 2006) qui propose une revue de littérature complète sur le sujet

<sup>5</sup> Nous renvoyons vers (Moureau and Rivaud-Danset, 2004) et (Pradier, 2005) (plus critique) pour plus de détails sur l'analyse des travaux de F. Knight et les comparaisons à ceux de F. Hayek et J. Keynes

ceci n'est pas vrai de l'incertitude en raison de l'impossibilité de regrouper les cas, parce que la situation à traiter présente un degré élevé de singularité ».

Dans la suite, nous utiliserons les notations suivantes. Soit  $S$  l'ensemble des états possibles du monde (ou de la nature) et  $X$  l'ensemble des conséquences possibles. La décision (l'acte) peut alors être définie comme une application mesurable  $f$  de  $S$  dans  $X$  qui à chaque état  $s \in S$  associe un résultat  $f(s) \in X$ .

$$\begin{aligned} f : S &\rightarrow X \\ s &\mapsto f(s) \end{aligned} \quad (2.1)$$

## 2.2.1 La décision dans le risque (ou sous le risque)

La décision est dite « risquée », « dans le risque » (Bouyssou et al., 2006) ou « sous risque » (Lang, 2003) quand la prévision peut se faire à partir de probabilités mathématiques (ex. : dans un jeu, nombre de cas favorables sur nombre de cas total) ou fréquentistes (induites de l'expérience suite à un « grand nombre d'observations »), « toutes deux qualifiées d'objectives » (Moureau and Rivaud-Danset, 2004).

Beaucoup d'auteurs raccrochent l'histoire des décisions dans le risque à celle des probabilités. Au XVII<sup>ème</sup> siècle, l'étude du problème des partis, inspirée du jeu du chevalier de Méré, est à l'origine de correspondances entre les mathématiciens B. Pascal et P. de Fermat. Le chevalier propose un jeu basé sur la prédiction du résultat d'un lancé d'un ou plusieurs dés. Deux alternatives sont distinguées pour le joueur qui affronte le chevalier : « le joueur gagne » ou le « le joueur perd » (le gagnant empoche toute la mise). Dans une première version du jeu le joueur gagne si la face six sort une fois lors d'une séquence de quatre lancers d'un dé. Une seconde version donne gagnant le joueur en cas d'apparition d'un double six lors d'une séquence de 24 lancers de deux dés. Si la première version lui assurait un nombre majoritaire de victoires, à son grand étonnement, il n'en était pas le cas pour le second (pour lui « l'arithmétique se dément »). Pascal montra l'intérêt de considérer les situations du jeu dans son ensemble. L'analyse prospective de la structure du jeu amène à considérer toutes les éventualités possibles et donc à obtenir une évaluation « objective » des probabilités des différentes alternatives.

Il semble que ce critère de jugement soit resté de longues années « une référence étayée seulement par des observations et des références empiriques » (Cadet and Chasseigne, 2009). Nous soulignerons tout de même la solution de D. Bernoulli au paradoxe de St Petersburg, jeu de type pile ou face avec une règle particulière qui implique une espérance mathématique positive et infinie. En d'autres termes, si l'espérance mathématique est le critère de décision, le joueur doit miser toute sa fortune et ne jamais arrêter de jouer. Cette différence entre « critère formel (espérance infinie) » et « conduite effective (mises limitées) »<sup>1</sup> souligne le paradoxe et remet en cause cette première vision de la rationalité d'un décideur. D. Bernoulli propose alors la notion d'utilité pour traduire le différentiel entre valeur nominale de l'argent (en référence au jeu) et sa valeur subjective (l'utilité). Il montre que l'utilité, c'est à dire la valeur accordée par le décideur, décroît à mesure qu'augmente sa fortune (en ces temps de grèves, une retenue sur salaire d'une semaine n'a pas la même valeur pour l'ouvrier d'une usine et le joueur de foot millionnaire).

C'est en 1947 que J. Von Neumann et O. Morgenstern (1947) vont proposer une approche axiomatique au centre de laquelle est définie l'espérance d'utilité, application  $u$  de  $X$  dans  $\mathbb{R}$  qui associe à chaque résultat  $f(s) \in X$  une valeur dans  $u(f(s)) \in \mathbb{R}$  :

$$\begin{aligned} u : X &\rightarrow \mathbb{R} \\ f(s) &\mapsto u(f(s)) \end{aligned} \quad (2.2)$$

<sup>1</sup> Les expressions « critère formel » et « conduite effective » sont empruntées à Cadet et Chasseigne (2009)

Nous renvoyons vers (Bouyssou et al., 2006) pour les détails de la présentation mathématique de différents axiomes :

- préordre total : le décideur peut classer toutes les décisions (il est capable d'ordonner toutes les résultats en fonction de ses préférences) ;
- continuité : empêche l'existence de résultats « infiniment désirable » et « infiniment indésirable »
- indépendance : Soit P, Q et R, trois résultats possibles. Si le décideur préfère P à Q, l'ajout de la situation R avec une probabilité de  $\alpha$  dans le choix ne doit pas changer la préférence de P sur Q ( $\forall \alpha \in [0,1], P \succeq Q \Leftrightarrow (1-\alpha)P + \alpha R \succeq (1-\alpha)Q + \alpha R$ ).

D'où le théorème de von Neumann et Morgenstern : Soit L l'ensemble des lois de probabilité caractérisant l'ensemble X des résultats possibles d'une action munie de la relation de préférence  $\succeq$ . Si et seulement si les axiomes sont respectés, alors il existe une fonction d'utilité (Expected Utility, EU) telle que :

$$EU_{p,u}(f) = \sum_{s \in S} p(s) \times u(f(s)) \quad (2.3)$$

où la loi de probabilité P est une application p qui assigne à chaque  $s \in S$  une distribution de probabilité (telle que  $p(s) \in [0,1]$  et  $\sum_{s \in S} p(s) = 1$ ).

Avec ces avancées, le décideur « rationnel » se comporte comme un « maximisateur d'utilité espérée »  $\left( \max_{f \in X} (EU_{p,u}(f)) \right)$ , « rationalité du comportement qui va séduire les économistes »

(Cadet and Chasseigne, 2009). Néanmoins, cette vision a été exposée rapidement à la critique. A posteriori, (Lopes, 1994) dira même qu'« il n'y a pas de psychologie dans von Neumann et Morgenstern » afin de démentir la valeur « descriptive » de cette vision du décideur. Cette contradiction entre comportement théorique (caractère normatif) et conduite effective (caractère descriptif) est mis en évidence par le paradoxe d'Allais qui montre la violation de l'axiome d'indépendance (Allais, 1953). M. Allais expose un problème de décision basé sur deux loteries qu'il soumet à un grand nombre de participants. La première propose deux issues : (A) gagner avec certitude 100 millions et (B) recevoir un billet de loterie avec 10 chances sur 100 de gagner 500 millions, 89 chances sur 100 pour 100 millions et de ne rien gagner 1 fois sur 100. Une majorité des choix se portent sur l'option A (gain certain). Les deux issues de la seconde loterie sont : (C) recevoir un billet de loterie avec 11 chances sur 100 de gagner 100 millions et 0 millions 89 fois sur 100, et (D) recevoir un billet de loterie permettant de gagner 500 millions 1 fois sur 10 et 0 million dans le reste des cas. Ici c'est l'option B qui est majoritairement retenue. Or, le calcul suivant le critère EU pour chacune des deux loteries fait apparaître le paradoxe<sup>1</sup>. Celui-ci met en valeur des choix parfaitement contradictoires et démontre « les défaillances descriptives » de cette théorie dont les partisans continueront de louer l'aspect normatif considéré par eux « comme plus important » (Bouyssou et al., 2006)

## 2.2.2 La décision dans l'incertain (1/2) : l'utilité espérée subjective

Le passage aux probabilités subjectives permet de traiter les cas où le décideur ne dispose pas de données « statistiques fiables », qu'il ne peut « remettre en question » (Bouyssou et al., 2006). Dans le risque, Knight qualifie d'objectives les propriétés mathématiques et fréquentistes des

<sup>1</sup> pour la loterie 1 :  $u(100) \times 1 > u(500) \times 0,1 + u(100) \times 0,89 + u(0) \times 0,01$  soit  $u(100) \times 0,11 > u(500) \times 0,1 + u(0) \times 0,01$

pour la loterie 2 :  $u(100) \times 0,11 + u(0) \times 0,89 > u(500) \times 0,1 + u(0) \times 0,9$  soit  $u(100) \times 0,11 < u(500) \times 0,1 + u(0) \times 0,01$

probabilités dont dispose le décideur. Or, dans l'incertain, la prévision repose sur une estimation, un jugement personnel de la situation relevant de l'expérience personnelle ou de l'intuition.

Dans la lignée des travaux des mathématiciens B. de Finetti et F. Ramsey, L. Savage étend l'espérance d'utilité (Expected Utility, EU) aux situations où tous les événements sont probabilisés même si leurs probabilités peuvent différer d'un décideur à un autre (Subjective Expected Utility, SEU) (Savage, 1954). La « justification axiomatique » de L. Savage est la plus célèbre<sup>1</sup>. Elle permet de ramener « toute situation d'incertitude à une situation de risque subjectif ». Parmi les axiomes, l'axiome d'indépendance autrement appelé « principe de la chose sûre » (« Sure Thing Principle ») reste une nouvelle fois critiqué. Si le critère SEU constitue une approche normative dont l'utilisation est encore aujourd'hui courante, son usage à des fins descriptives est limité. En plus du paradoxe d'Allais présenté plus haut, le paradoxe d'Ellsberg (1961) traduit lui aussi son « incapacité à rendre compte de comportements avérés »<sup>2</sup>.

## 2.2.3 La décision dans l'incertain (2/2) : critères non probabilistes<sup>3</sup>

Que cela soit dans le risque ou dans l'incertitude la représentation du jugement pour la prise de décision repose traditionnellement sur un « cadre probabiliste ». Ce cadre est fondé sur une hypothèse forte : la capacité du décideur à caractériser chaque état de la nature par une loi de probabilité (même subjective). Or, ce n'est pas toujours le cas et il convient de disposer de critères permettant de traiter les cas où le décideur ne connaît pas les distributions de probabilité, situation qualifiée de « décision sous ignorance ». Le recours à des expressions comme « ignorance » ou « raison insuffisante » témoigne de l'importance de la probabilité pour la décision pour bon nombre d'auteurs, qui font de la connaissance des probabilités pour décrire la situation de décision le garant de la pertinence du choix final et donc de la « raison ». Mais comment ne pas « déraisonner » lorsque l'évaluation (objective ou non) de ces probabilités n'est pas possible ?

### 2.2.3.1 Critère de Laplace, le retour de l'incertain probabilisé par principe de raison insuffisante

En son temps, Laplace a proposé avec son « principe de raison insuffisante » une réponse aux situations où le décideur ne connaît pas l'évaluation probabiliste des états du monde, ni n'est capable de les évaluer. Dans ce contexte, il ne dispose que d'une liste exhaustive des éventualités. Le principe de raison suffisante amène alors, en l'absence de toute autre information, à attribuer la même probabilité à chacune des possibilités<sup>4 5</sup>. Avec les notations précédentes, ce critère s'exprime alors :

<sup>1</sup> (Bouyssou et al., 2006) citent également les travaux de (Anscombe and Aumann, 1963)

<sup>2</sup> Ellsberg utilise une urne remplie de 90 boules dont 30 sont rouges (R) et dont les autres sont bleues (B) ou jaune (J) dans une proportion inconnue. Le résultat du tirage peut donc être : R, B ou J. Il soumet à des sujets la situation suivante :

- d'abord parier sur le résultat d'un premier tirage (gain de 100 pour un pari gagnant sur R ou gain de 100 sur un pari gagnant sur B). Les joueurs parient majoritairement sur R, d'où une préférence de R sur B ( $R > B$ ) ;
- puis, parier sur le résultat d'un second tirage (gain de 100 pour un pari gagnant sur R ou J ou gain de 100 pour un pari gagnant sur B ou J). Les joueurs parient majoritairement sur B ou J, d'où une préférence de B ou J sur R ou J ( $B \cup J > R \cup J$ )

Or, au regard des deux inégalités ( $R > B$ ) et ( $B \cup J > R \cup J$ ) qui décrivent ces deux comportements, il y a violation de l'axiome d'indépendance ( $\forall \alpha \in [0;1], P \succ Q \Leftrightarrow (1-\alpha)P + \alpha R \succ (1-\alpha)Q + \alpha R$ ) , d'où le paradoxe entre comportement prédit par la norme (EU ou SEU) et le comportement réel des décideurs.

<sup>3</sup> D. Bouyssou *et al.* (2006) leur consacrent un chapitre à part entière (et vont d'ailleurs au delà des quelques critères présentés ici) sous l'intitulé de « critère » qualitatifs », ce qui selon nous peut porter à confusion compte tenu des définitions mathématiques et mesurables des critères eux-mêmes.

<sup>4</sup> B. Cadet et G. Chasseigne (2009) citent l'œuvre originale de Laplace (1814) pour montrer que selon lui l'espérance mathématique est un bon critère de décision puisqu'elle « exprime généralement l'avantage de celui qui attend un bien quelconque dans des suppositions qui ne sont que probables. Cet avantage [...] est le produit de la somme espérée par la probabilité de l'obtenir », d'où son besoin d'exprimer des probabilités pour cette application de l'EU ou SEU que nous pouvons qualifier d'expérimentale ou d'ignorée...

<sup>5</sup> Paul Valéry ne sera pas très loin de cette façon de penser en exprimant : « Un homme tirait au sort toutes ses décisions. Il ne lui arriva pas plus de mal qu'aux autres qui réfléchissent. »

$$L_u(f) = \max_{u(f)} \left( \frac{\sum_{s \in S} u(f(s))}{\text{card}(S)} \right) \quad (2.4)$$

Néanmoins, cette solution semble assez limitée. En effet, une absence de connaissance réelle (état de connaissance que nous notons E0) est ici traduite par une équiprobabilité donc une certaine forme de connaissance (E1). Or, l'état E1 caractérise un niveau de connaissance supérieur à celui de E0. Or, au regard des nombreux paradoxes déjà identifiés, il semble difficile d'anticiper (et donc de décrire) le comportement (ou conduite) effectif du décideur avec un tel critère. A moins de tomber « par chance » sur des cas réellement équiprobables, l'intégration d'une déviation dans le critère utilisé remet en cause son caractère descriptif (au moins, car la conservation des propriétés normatives reste à discuter mais sort des limites de ces travaux).

Avec l'efficacité, somme toute relative, du principe de la raison insuffisante, de nombreux travaux ont alors porté sur la définition de critères non probabilistes. Dans ces travaux nous focaliserons sur les critères considérés comme les plus familiers : Wald, Hurwitz et Savage, en les illustrant avec les données de l'exemple de la section 2.2.3 (anorak ou pas anorak en fonction d'un temps à venir).

### 2.2.3.2 Critère de Wald

Le critère de Wald se propose d'ordonner les actions selon leur plus mauvaise conséquence (Wald, 1950; Bouyssou et al., 2006). Egalement appelé critère maximin ( $w^-$ ), il consiste à sélectionner la meilleure des pires situations et reflète un certain degré de « pessimisme ». Inversement, un critère maximax ( $w^+$ ), plus optimiste, est obtenu lorsque la meilleures des meilleures situations est sélectionnée. Mathématiquement, ces deux variantes du critère s'expriment alors :

$$W_u^-(f) = \max_{u(f)} \left( \min_{s \in S} u(f(s)) \right) \quad (2.5)$$

$$W_u^+(f) = \max_{u(f)} \left( \max_{s \in S} u(f(s)) \right) \quad (2.6)$$

D. Bouyssou *et al.* (2006) précisent qu'a priori « les critères maximin et maximax n'ont pas besoin des valeurs numériques d'utilité. Seul un préordre complet est nécessaire ». Dans l'exemple, où les valeurs des conséquences sont données dans le Tableau 2.1, l'application consiste à comparer, dans le cas du maximin -4 à -1, et +8 à +2 dans le cas du maximax (Figure 2.3).

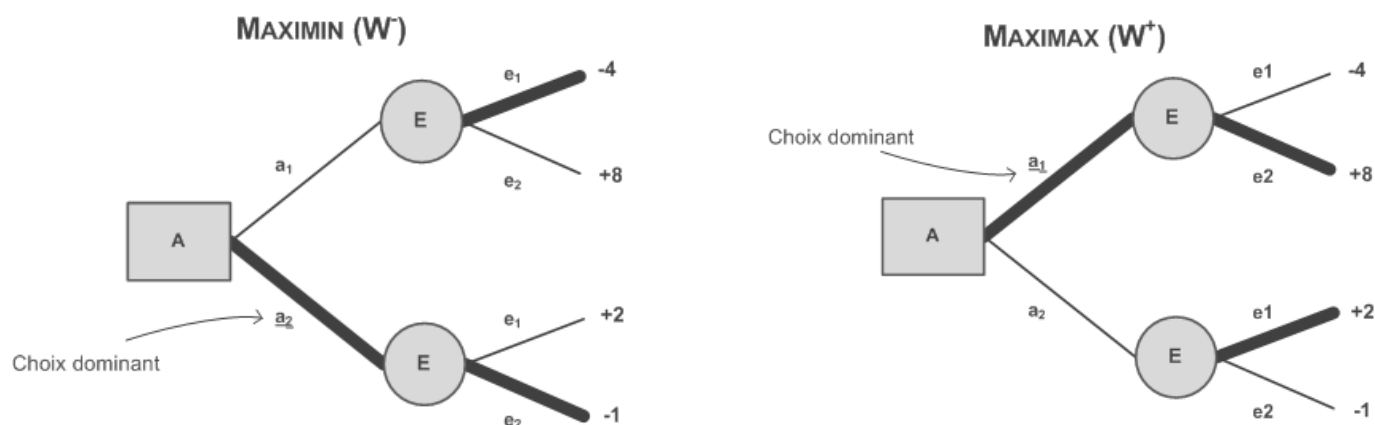


Figure 2.1 : Ordonation des actions par application des deux variantes du critère de Wald

### 2.2.3.3 Critère d'Hurwitz

Une des critiques du critère de Wald consiste dans son positionnement extrême (dans le pessimisme ou l'optimisme). Hurwitz a donc eu l'idée d'utiliser une moyenne pondérée de  $w^-$  et  $w^+$ . Il introduit un poids  $\alpha$  qui peut être interprété comme le degré de pessimisme du décideur. D'où le critère d'Hurwitz :

$$H_u(f) = \max_{u(f)} \left( \alpha \times \min_{s \in S} u(f(s)) + (1 - \alpha) \times \max_{s \in S} u(f(s)) \right) \quad (2.7)$$

Lorsque l'évaluation de tous les scénarios est connue, l'utilité de la meilleure et de la pire situation est quantifiée. Le développement de la formule (2.7) fait alors rapidement apparaître la linéarité du critère  $H_u$  très facilement représentable (Figure 2.2) :

$$H_u(f) = A \times \alpha + B, \quad \text{avec } A = \min_{s \in S} u(f(s)) - \max_{s \in S} u(f(s)) \text{ et } B = \max_{s \in S} u(f(s)) \quad (2.8)$$

Une valeur du critère  $H_u$  est calculée pour chaque résultat possible de la décision  $f(s)$ . En accord avec le concept du décideur maximisateur, l'action dominante est celle dont la valeur du critère est la plus grande.

Nous pouvons ajouter que la monotonie de la fonction H dépend du signe de  $m(a_i) - M(a_i)$  et donc de l'indicateur utilisée pour évaluer chaque scénario. Dans le cadre du management des chaînes logistiques, nous pouvons distinguer deux situations :

- la meilleure situation correspond à un maximum (et inversement la pire un minimum) : l'utilité de la meilleure situation est supérieure à celle de la pire. Il pourra s'agir d'indicateurs tels que les ventes réalisées sur un marché, le TRS, la satisfaction client, un nombre de commandes, un niveau de trésorerie... (Résultant sur des fonctions H décroissantes)
- la meilleure situation est un minimum (et inversement la pire un maximum) : l'utilité de la pire situation est supérieure à celle de la meilleure. Il s'agira, dans ce cas, de prendre une décision sur la base d'un niveau de stocks, de ruptures, de pannes... (Résultant sur des fonctions H croissantes)

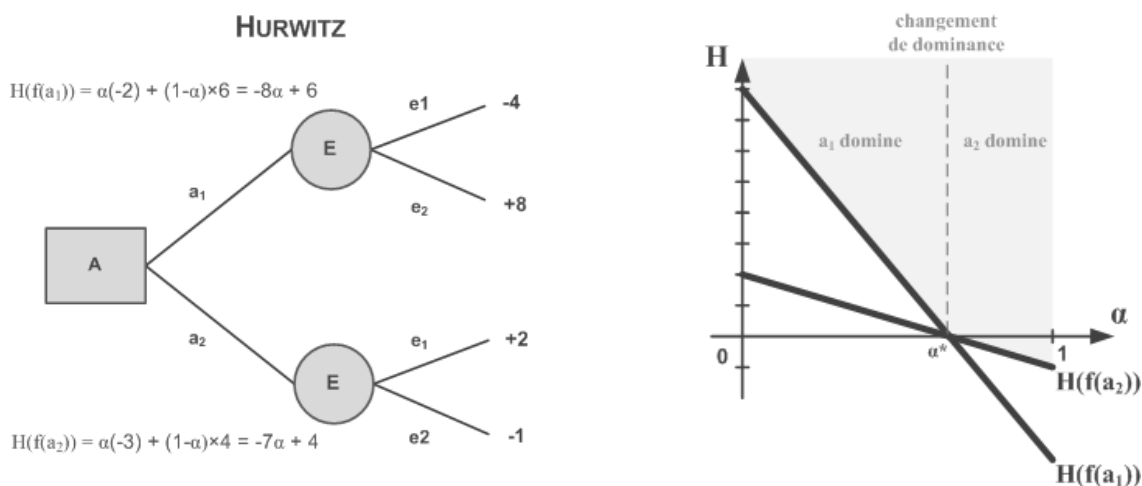


Figure 2.2 : Recherche de dominance avec le critère d'Hurwitz

### 2.2.3.4 Critère du MinMax Regret

Le critère de minimisation du regret maximum, ou MinMax Regret<sup>1</sup>, permet, lorsqu'une évaluation de chaque scénario est connue, de mesurer le « regret » qu'aurait le décideur à privilégier une action sur une autre. Le regret peut alors être compris en terme de manque à gagner ou de coût d'opportunité. A état de la nature  $e$  constant ( $e \in S_E$ ), pour une option possible  $d$  de la décision  $D$ , il exprime la différence entre l'utilité de cette option  $d \in S_D$  et celle de l'option qui en présente le plus. Le regret, pour une option possible  $d$  dans une situation (un état du monde)  $e$ , s'exprime alors :

$$r(d, e) = u(f(d, e)) - \max_{d \in S_D} (u(f(d, e))) \quad (2.9)$$

Ce critère consiste ensuite à minimiser le regret maximum, ce qui permet d'écrire

$$S_u(f) = \min_{d \in S_D} \left( \max_{e \in S_E} (r(d, e)) \right) \quad (2.10)$$

La Figure 2.3 reprend le déroulement de l'application du critère MinMax Regret sur l'exemple. Le raisonnement se fait d'abord de manière horizontale dans la matrice d'imputation. Pour chaque état de la nature, la meilleure décision est identifiée (1). Ceci permet de calculer le regret associé à chaque scénario (2) et d'identifier le regret maximum pour chaque décision (3) (raisonnement vertical). Enfin, le décideur sélectionne le plus petit de ces regrets identifiés.

1/ Pour chaque état de la nature la meilleure décision est identifiée			Décisions (ou actions)	
			a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
Aléas (ou états)	e <sub>1</sub>	➡	-4	+2
	e <sub>2</sub>	➡	+8	-1

2/ Pour chaque scénario le regret est calculé			Décisions (ou actions)	
			a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
Aléas (ou états)	e <sub>1</sub>		+6	0
	e <sub>2</sub>		0	+9

3/ Pour chaque décision le regret maximum sur les états de la nature est identifié			Décisions (ou actions)	
			a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
Aléas (ou états)	e <sub>1</sub>	⬇	+6	0
	e <sub>2</sub>		0	+9

4/ La décision dominante est celle qui a le plus petit regret			Décisions (ou actions)	
			a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
Aléas (ou états)	e <sub>1</sub>		+6	0
	e <sub>2</sub>		0	+9

Figure 2.3 : Application du critère MinMax Regret sur l'exemple

<sup>1</sup> Parfois appelé critère de Savage



## 2.2.4 Une représentation de la mise en œuvre de décisions : l'arbre de décision

B. Cadet et G. Chasseigne (2009) présentent le critère d'utilité (EU ou SEU) comme une méthode de représentation du jugement et donc comme une forme d'aide à la décision. En particulier, ils proposent une démarche structurée autour de trois analyses successives et basée sur l'utilisation d'arbres de décisions comme outil de représentation :

- une *analyse structurale* : l'arbre de décision est une « représentation schématique de la situation sous forme d'une cartographie cognitive », son objectif est d'explicitier l'ensemble des situations qui peuvent se présenter. Phase prospective par définition, le but est d'éviter, qu'au moment d'agir, le décideur se trouve face à une situation qui « n'aurait pas été préalablement identifiée ». L'arbre de décision permet de représenter des situations de « décision dynamique dans l'incertain »<sup>1</sup>. L'aspect dynamique traduit le fait que le décideur a une certaine connaissance du monde à l'instant  $t$  et que cette connaissance est amenée à évoluer dans le futur avec l'arrivée de nouvelles informations<sup>2</sup>. Ces informations peuvent prendre la forme d'aléas (« états de la nature indépendants de toute intervention du décideur et hors de sa portée ») et/ou d'autres décisions (autres actions possibles du décideur). Ces deux éventualités sont respectivement représentées par des nœuds de chance (ronds) et de décision (carrés). Un arbre se lit donc de gauche à droite (de la racine jusqu'aux feuilles), ce sens de lecture traduisant la séquence des prises de décisions successives et/ou l'occurrence des aléas. Chaque branche de l'arbre, c'est à dire chaque chemin allant de la racine jusqu'à une feuille donnée, est unique et représente un scénario possible. Enfin chaque scénario doit être évalué (les anglophones utilisent le terme « pay-off » pour nommer cette évaluation présente sur chaque feuille). Cette évaluation peut également intégrer une notion de coût associé au choix lui même indépendamment de ses conséquences. Une matrice d'imputation peut-être utilisée en amont pour mettre en relation les valeurs d'utilités (évaluation) avec les états du monde et les actions possibles. Le Tableau 2.1 et la Figure 2.4 illustrent un exemple d'une décision (A : emporter un anorak ( $a_1$ ) ou pas ( $a_2$ )) et d'un aléa futur (E : température sur place, chaud ( $e_1$ ) ou froid ( $e_2$ )) ;

		Décisions (ou actions)	
		$a_1$	$a_2$
Aléas (ou états)	$e_1$	-4	+2
	$e_2$	+8	-1

**Tableau 2.1 : Exemple de matrice d'imputation**

<sup>1</sup> Appellation empruntée à D. Bouyssou *et al.* (2006) qui présentent la notion d'arbre de décision dans le chapitre consacré aux réseaux bayésiens au centre desquels se trouve la notion de probabilité conditionnelle. Pour eux, « Les réseaux bayésiens offrent une représentation fine, sous forme de graphe, des relations de dépendances, directes ou indirectes, au sein d'un ensemble de variables. Ce graphe est complété par des valeurs numériques permettant d'apprécier la nature et l'intensité de ces relations. Plus précisément, un réseau bayésien est un modèle probabiliste, son graphe exprime des relations d'indépendance conditionnelle entre variables aléatoires, et ses tables de données précisent les dépendances sous formes de lois de probabilités conditionnelles ».

<sup>2</sup> L'arrivée de nouvelles informations, modifie la connaissance sur les situations possibles, et le décideur peut être amené à reconsidérer la vraisemblance de l'occurrence d'un aléa, d'où le recours dans certain cas à des probabilités conditionnelles.

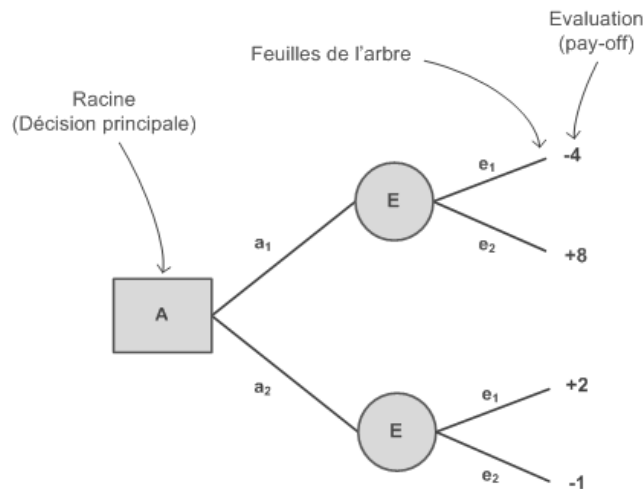


Figure 2.4 : Exemple d'arbre de décision (composantes)

- une *analyse numérique (et ordination des actions)* : L'utilisation d'un arbre de décision pose l'hypothèse que la prise de décision s'apparente à un choix d'une action spécifiée parmi plusieurs actions « potentiellement éligibles », « concurrentes » et « mutuellement exclusives » au sens où toutes peuvent être choisies, chacune pouvant donner un résultat différent et qu'une seule sera retenue. Les auteurs parlent d'action dominante pour cette dernière et justifient cette appellation par la possibilité de calculer des EU ou SEU<sup>1</sup> pour chaque action possible et que leur comparaison permet d'« établir une échelle ordinale de type » :  $EU(A_1) > EU(A_2) > \dots > EU(A_n)$ . Pour un nœud de chance, la fonction SEU évalue dans un premier temps chaque branche fille (attribution d'une valeur d'utilité espérée à chaque branche). Elle consiste à multiplier la probabilité d'un aléa par la valeur d'utilité de la branche considérée (dans l'exemple illustré par la Figure 2.5 :  $p(e_1) \times u(e_1, a_1) = 0,7 \times (-4) = -2,8$ ). La valeur globale du nœud de chance est ensuite calculée en sommant les valeurs d'utilités espérées de chacune des branches. Le choix sur le nœud de décisions s'effectue ensuite en choisissant le nœud de chance fils avec la meilleure valeur espérée (ici  $a_2$  car  $1,1 > -0,4$ ). Le fonctionnement peut ensuite être adapté sur des arbres plus grands (n décisions et m aléas à au moins deux possibilités chacun)
- une *évaluation des conséquences* : il s'agit de la phase d'exécution présentée plus haut, où le choix défini est évalué en terme de conséquences sur la réalité.

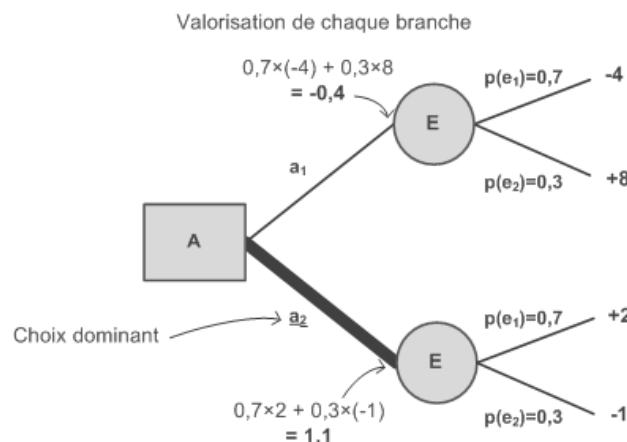


Figure 2.5 : Analyse numérique et ordination des actions d'un arbre

<sup>1</sup> A ce stade les probabilités peuvent être mathématiques, fréquentistes ou subjectives (tant qu'elles le sont toutes pour un même aléa)

## 2.3 Le facteur humain (Approche Cognitive)

Cette partie constitue notre deuxième tentative d'incursion dans le domaine de la psychologie. Au regard, de l'intervalle de temps sur lequel s'étalent les travaux de la Théorie de la Décision présentés plus haut, l'Approche Cognitive de la décision, du moins pour sa plus grande partie, apparaît plus récente (années 50). Cette « jeunesse » n'est en rien contradictoire avec la richesse, la diversité et le nombre des propositions. Nous ne ferons ici que survoler ce vaste champ de recherche, qui taille la part belle à l'étude des conduites et aux expérimentations, afin d'en donner les principaux messages<sup>1</sup>. De manière générale, l'approche cognitive de la décision peut être décomposée en deux courants majeurs :

- La théorie comportementale de la décision ;
- La théorie du jugement social et la théorie fonctionnelle de la cognition ;

### 2.3.1 Théorie comportementale de la décision

La théorie comportementale de la décision trouve sa source dans la Théorie de la Décision comme en témoignent quelques unes des notions présentées dans des ouvrages tels que (Bouyssou et al., 2006) ou (Moureau and Rivaud-Danset, 2004) ou encore le prix Nobel d'économie reçue par le psychologue D. Kahneman<sup>2</sup> en 2002. Elle cherche à « répondre à des paradoxes expérimentaux » (Moureau and Rivaud-Danset, 2004) et à expliquer les déviations du comportement avéré face au comportement décrit par l'utilité espérée ».

S'il n'était pas le premier psychologue à s'intéresser au sujet W. Edwards est considéré au travers de ses publications (Edwards, 1954, 1961) comme le déclencheur de ce courant. Pour B. Cadet et G. Chasseigne (2009) « son grand mérite semble d'avoir été sensible aux progrès réalisés par les économistes en matière d'étude des décisions et d'avoir entrevu l'intérêt qu'il pourrait y avoir, pour les psychologues, à se saisir des modèles élaborés en économie et à les exploiter comme base de référence pour la description (et l'évaluation) du comportement humain ». Pour W. Edwards et ses collègues, le but est alors d'expliquer les biais, entendus comme des déviations par rapport à la norme (décision obtenue par le calcul : EU, SEU, théorème de Bayes...).

En partie inspiré de la capacité limitée de l'Homme pour traiter les informations dont il dispose (Simon), D. Kahneman et A. Tversky ont proposé la notion d'heuristique pour expliquer les biais entre résultats théoriques (mathématiques) et expérimentaux (décisions réelles). Ils justifient ces biais par l'utilisation par les sujets d'heuristiques, définies comme des « méthodes d'estimation simplificatrices » mises en œuvre « pour alléger le coût cognitif des tâches » impliquées dans la prise de décision (Cadet and Chasseigne, 2009). Depuis les définitions initiales de A. Tversky et D. Kahneman (1974), de nombreuses heuristiques ont été définies parmi lesquelles les « trois heuristiques princeps »<sup>3</sup> :

- la *représentativité*: comportement du décideur qui va chercher, à partir d'indice perçus, à rapprocher un événement, une situation à une classe d'événements ou une situation connue. (« dans quelle mesure il en est représentatif ») (mise en évidence par le test du portrait qui consiste à décrire une personne par quelques traits psychologiques et à demander au sujet de deviner la profession de cette personne) ;
- la *disponibilité*: comportements qui soulignent la facilité d'accéder à certaines informations en notre connaissance afin de construire le jugement (mise en évidence par le test qui consiste à faire évaluer par des sujets le nombre de mots commençant

<sup>1</sup> Cette étude s'est essentiellement basée sur les travaux de synthèse et de structuration sur le sujet de B. Cadet et G. Chasseigne (2009) et A. Berthoz (2003)

<sup>2</sup> Sa double étiquette « psychologue » et « économiste » est révélatrice de l'interaction forte entre ces deux domaines

<sup>3</sup> Se sont ajoutées au fur et à mesure d'autres heuristiques : de simulation, de reconnaissance, de numérosité, d'affect... Plus de 25 de nos jours

par la lettre e puis ceux ayant en troisième lettre la lettre e. La majorité se trompe en estimant plus nombreux les mots commençant par la lettre e) ;

- l'*ancrage-ajustement* : comportement qui « consiste à faire des estimations en partant d'une valeur initiale qui est ajustée pour obtenir une valeur finale ». Le sujet commence par reprendre une situation antérieure connue avant de la mettre à jour pour l'adapter au cas présent (mise en évidence par le test du calcul de factorielle 8 (=40320) suivant deux calculs à effectuer en 5 secondes :  $8 \times 7 \times \dots \times 1$  et  $1 \times 2 \times \dots \times 8$  et répartis à groupes d'étudiants. En moyenne les étudiants du groupe  $8 \times 7 \times \dots \times 1$  ont répondu 2250, les autres 512. Le temps de calcul étant trop court les étudiants ne font qu'une estimation décrite par les psychologues comme un ancrage à partir des premiers termes de la série, d'où la différence entre les deux groupes).

Il est à noter que G. Gigerenzer (1991) viendra remettre en cause les contextes dans lesquels les paradoxes expérimentaux de A. Tversky et D. Kahnemann ont été obtenus. Surtout, il pose la question de l'existence réelle du concept de biais en remettant en cause la prévalence du formel (calcul mathématique) sur le cognitif (comportement réel). En d'autres termes, puisqu'il y a sans cesse déviation, la déviation n'est-elle pas la norme ? Il doute que les résultats des calculs mathématiques doivent rester la norme. Dans ce cas, la norme est donnée par les heuristiques et « les biais ne sont pas des biais ».

A cet égard, il est intéressant de remarquer que A. Berthoz (2003) différencie les apports de W. Edwards, A. Tversky et D. Kahneman de ceux de G. Gigerenzer. Pour lui, les premiers appartiennent à une approche normative, s'intéressant au décideur idéal et à la question du comment expliquer les déviations vis à vis de la norme. Les seconds sont présentés comme descriptifs puisque s'intéressant uniquement à la description des processus à l'origine du choix.

### 2.3.2 Théorie du jugement social et théorie fonctionnelle de la cognition

Ce courant se distingue du premier en n'essayant pas de rechercher les causes des biais de jugement. Deux écoles vont alors se différencier avec comme chef de file K. Hammond (Théorie du jugement social) et N. Anderson (Théorie fonctionnelle de la cognition). La première s'intéresse notamment à l'effet des propriétés de l'environnement sur la décision. A la base du jugement sont des indices perçus avec un certain critère. Cette recherche s'est particulièrement centrée sur la problématique de l'apprentissage.

La Théorie fonctionnelle de la cognition s'intéresse directement à la relation stimuli-réponse. Elle se propose de donner une méthode pour mesurer des stimuli et leur intégration au travers d'un « algèbre cognitif ». Ce dernier doit retranscrire les opérations effectuées pour intégrer l'information : sommation, multiplication, calcul de moyenne, soustraction, division,...

A. Berthoz (2003) décrit ces approches comme prescriptives au sens où elles chercheraient à élaborer des représentations « utilisables pour améliorer la pertinence de nos choix ». Néanmoins, compte-tenu du développement actuel de celles-ci et de notre « capacité limitée » à nous les approprier, nous concluons ici qu'elles ne peuvent nous aider à développer des outils concrets d'aide à la décision pour le management des chaînes logistiques.

## 2.4 Bilan : quelle aide pour la décision ?

Les économistes et mathématiciens proposent un cadre formel très « attrayant » pour notre raison « quantifiante » et « rationnelle ». Toutefois, les psychologues montrent que cette représentation maximisatrice d'utilité (dans la plupart des cas) n'est en aucun cas révélatrice du comportement humain réel. Certains en viennent même à remettre en doute le caractère normatif de ces règles formelles.

Si la théorie de la décision reste incontournable dans les domaines de l'économie et donc du management des chaînes logistiques, le point de vue cognitif peut nous amener à légèrement modifier notre vision des processus de la prise de décision. En effet, tous ces modèles se veulent normatifs ou descriptifs de la phase de jugement. Mais la place de choix occupée par les paradoxes (expérimentaux ou non) peuvent laisser penser que tous ces critères pourraient plutôt être intégrés à la phase d'évaluation, phase de prise d'information (au travers des canaux réceptifs plus ou moins objectifs). Avec ce changement de perspective, l'aide à la décision ne porte plus sur l'utilisation du meilleur critère pour proposer le meilleur jugement, c'est à dire, la « meilleure »<sup>1</sup> solution, démarche indissociable du débat sans fin sur la « qualité » du critère mis en œuvre. Pour nous, l'aide à la décision doit participer à l'effort d'information du décideur (et donc à sa phase d'évaluation) sans prétendre de la qualité absolue de la proposition. La pertinence de la démarche d'aide à la décision résidera alors dans la faculté à trouver le bon compris entre :

- l'enrichissement de la connaissance du décideur sur sa situation de décision en utilisant plusieurs critères. Le fragment de connaissance, ajouté à chaque mise en œuvre de l'un d'entre eux, est constitué de deux informations inséparables : une action dominante (pour la décision A, le choix  $a_2$  s'impose...) et une description des hypothèses qui explicitent les conditions de cette dominance (si vous optez pour un comportement pessimiste, si les probabilités valent...);
- les capacités limitées du décideur pour intégrer ces informations au moment du jugement. Un trop plein d'informations (surtout si elles sont contradictoires) peut devenir un frein au jugement et donc empêcher la décision, ce que P. Valery illustre par l'expression « Que de choses il nous faut ignorer pour agir ». Si les avancées techniques et technologiques peuvent faciliter bon nombres de calculs, la mise en œuvre de tous les critères (ou d'un grand nombre) est à prohiber. Pour rester pertinente cette phase d'évaluation (d'information sur la situation) doit rester éclairante.

Dans toute la suite de ce document, nous ferons donc l'hypothèse que l'expression « décision sous incertitude » (avec le terme incertitude pris au sens général d'un certain manque de connaissance sur l'état actuel et à venir) est une sorte de pléonasme. Le manque d'information (de certitude) est considéré comme inhérent à toute décision. Il correspond à des situations où le « calcul ne peut suffire à guider l'action » (Moureau and Rivaud-Danset, 2004). En dehors d'une partie du monde académique dont nous venons d'explorer les travaux et pour qui risque et décision ont des définitions précises, les frontières définies par F. Knight (1921) autour de la capacité à probabiliser semblent s'estomper. Avec cette liberté d'expression retrouvée (qui sera la notre dans toute la suite), ne peut-on donc pas conclure qu'il y a donc toujours une part de risque dans la décision ? Se pose alors la question sur la façon dont les processus de la décision traite son inhérente part d'incertitude : le management des risques.

---

<sup>1</sup> Nous ne faisons pas ici obligatoirement référence à une optimalité absolue

## 3 Risque et décision, les inséparables : cas du management des relations industrielles

### 3.1 La notion de risque

P-C. Pradier (2005) débute son chapitre sur « l'histoire du risque » par une citation de l'historien français N.D. Fustel de Coulanges : « les études des mots ont une grande importance dans la science historique. Un terme mal interprété peut être la source de grandes erreurs ». Or, l'utilisation du mot risque sort, dans la plupart des cas, du cadre proposé par F. Knight (1921). Il convient donc d'abord de préciser le sens que nous lui accorderons dans ces travaux afin d'éviter toute erreur ou incompréhension.

Latine, italienne, espagnole, arabe, ... il est difficile d'établir avec exactitude l'origine du terme « risque ». Le sens qui lui est accordé s'est enrichi, développé (séquentiellement ou en parallèle) au fil du temps et des cultures traversées. Aujourd'hui ne parlons nous pas de « société du risque »<sup>1</sup> ? Cela témoigne de son omniprésence. P-C. Pradier (2005) explique que, de nos jours, différents emplois du mots risques se côtoient : « on confond donc le risque avec sa mesure (métonymie) et avec ce qu'il menace ».

Face à cette variété de sources, de perceptions des conséquences ou même de domaines ou de cultures, une multitude de définitions ont été proposées : académiques (Courtot, 1998; Knight, 1921; Gourc, 2006), mais aussi de la part d'organisations telles que ISO, AFNOR, DGA, CIRANO, COSO, OGC,... (DGA, 1995; AFNOR, 2003; CIRANO, 2003; Australian/New Zealand Standard, 2004; International Organization for Standardization, 2008, 2009). A ce propos, nous renvoyons vers les travaux de A. Sienou (2009) qui a dressé une liste plus exhaustive des définitions possibles du mot risque.

Parmi cet ensemble de définitions, le Guide 73 de l'ISO/IEC peut être considéré comme une référence couramment utilisée. En 2002, le risque était défini comme « la combinaison des probabilités d'un événement et de ses conséquences ». De ce point de vue, un risque était donc caractérisé par le produit « probabilité  $\times$  impact ». Or, nous l'avons vu plus haut, l'utilisation de probabilités faisant débat, il faut décrire la notion de risque sous des termes plus généraux. C'est ce vers quoi semble se diriger l'organisme normatif avec une nouvelle définition en 2009 (International Organization for Standardization, 2009) :

*« Effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs »*

*(Définition 2.1 : Le risque selon (International Organization for Standardization, 2009))*

Dans ce cadre, l'effet est défini comme « écart, positif et/ou négatif par rapport à une attente ». L'incertitude « est l'état, même partiel, de défaut d'information concernant la compréhension ou la connaissance d'un événement, de ses conséquences ou de sa vraisemblance ». La vraisemblance est elle définie comme « la possibilité que quelque chose se produise »<sup>2</sup>. Dans ces travaux, nous adoptons ce point de vue qui fait de l'objectif et de l'incertitude des invariants de la notion de risque.

<sup>1</sup> P-C. Pradier (2005) reprend cette expression qui caractérise l'utilisation du mot risque dans la société après 1900

<sup>2</sup> « que cette possibilité soit définie, mesurée ou déterminée de façon objective ou subjective, qualitative ou quantitative, et qu'elle soit décrite au moyen de termes généraux ou mathématiques (telles une probabilité ou une fréquence sur une période donnée) »

D. Gourc (2006), dont le point de vue est illustré par la Figure 2.6, présentait déjà cette vision générique :

« Possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur la performance du système »<sup>1</sup>  
(Définition 2.2 – Risque d'après (Gourc, 2006))

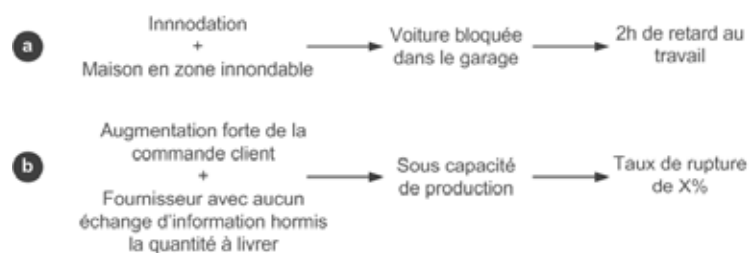
Avec ces définitions, considérées ici comme équivalente, le risque dépasse le simple événement. Il apparaît comme une notion dynamique qui se matérialise autour de quatre éléments fondamentaux. Pour un système dans une *situation* nominale, un *événement* potentiel peut causer une *perturbation* éventuelle (une situation perturbée). Cette perturbation influence les indicateurs de performance. L'*impact* constitue alors une « mesure qui définit l'importance des perturbations occasionnées par l'occurrence du risque ».



**Figure 2.6 : Vision générale du risque (d'après (Gourc, 2006))**

Le croisement d'un événement et d'une situation sera appelé *source de risque*. Ici, la notion de situation englobera le contexte du système mais aussi ce que beaucoup nomment des *facteurs de risque*. Ils peuvent être décrits comme « des éléments identifiés ou une condition de l'environnement interne ou externe dont l'existence est de nature à influencer la survenue d'un événement » (Gourc, 2006). En plus de l'occurrence de l'événement, le facteur peut également influencer sur l'importance de sa conséquence.

La Figure 2.7 ci-dessous illustre l'utilisation de ces différents termes dans des situations tirés du quotidien (a) ou de la gestion de la production (b). Au travers de cette dernière nous pouvons reconnaître un déclencheur possible d'un effet coup de fouet à l'échelle globale d'une chaîne avec la propagation de ce risque à tous les acteurs passant successivement du rôle de fournisseur à celui de client.



**Figure 2.7 : Exemples de risques**

Décrit à la fois par l'occurrence de l'événement (probabilisé ou non) et par les effets associés, le risque est donc par nature **multidimensionnel**.

Puisque le risque est lié à la détection d'un événement ou de ses conséquences, le risque est également par nature **évolutif**. Cette nature évolutive traduit le fait que le risque est toujours un phénomène entaché de manque d'informations et/ou de certitudes.

Le concept de risque ne peut être également dissocié de l'idée de partie prenante. Au delà du fait avéré, dans le risque, tout est perception. De la caractérisation de l'occurrence à l'évaluation des conséquences (« l'attente », « l'objectif »), la mesure du risque ne peut être dissociée du regard

<sup>1</sup> Adaptée de la définition proposée dans le cadre de la gestion de projet

porté sur lui par l'homme (Gourc, 2006). Ne parle-t-on pas de pessimisme ou d'optimisme ou bien de goût ou d'aversion pour le risque ? Le risque est donc éminemment **subjectif** et associé à une valeur qu'il s'agit de préserver et donc à un objectif (sans objectif il n'y a donc pas de risque).

D'autre part, la source de risque n'est pas seulement associée aux activités de la nature sur lesquelles l'homme n'a aucune influence (aléas ou décisions d'autres parties prenantes). L'homme, au travers de ses activités et de ses décisions, peut donc être à l'origine de certains risques. Dans le monde de l'entreprise, J.G. March (1989) cite ainsi le sentiment d'une majorité de décideurs pour qui « le risque est contrôlable ». Pour eux, il existe une distinction nette entre le jeu de hasard dans lequel les chances sont déterminées de façon exogène et non contrôlables et la prise de risque où les capacités et les informations peuvent diminuer l'incertitude. Ils disent pouvoir ainsi modifier les risques.

D'ailleurs, il est intéressant de remarquer que dans cette vision le décideur ne « subit » pas le risque mais le « prend ». Cette prise de risque s'appuie donc sur une logique, une démarche intellectuelle, précise et justifiée. A partir de cette prise de conscience, le risque peut s'inscrire dans une démarche « raisonnée et mesurée » afin d'en contrôler les effets au travers de certaines décisions. Deux attitudes peuvent exister alors. Le décideur peut alors entrer dans une recherche d'opportunités où le risque peut prendre une forme positive puisque vecteur potentiel de création d'une quelconque valeur. Inversement, adoptant une vision négative (plus traditionnelle) des conséquences possibles d'un événement sur un système (système naturel, entreprise, projet, groupe d'hommes,...), la cyndinique, ou science du danger, se proposent d'étudier les sources, les caractéristiques et les conséquences de ces Evénement Non Souhaités (ENS). Dans ce contexte un certain nombre de définitions ont été proposées (Kervern and Rubise, 1991).

Au final, contrôlable ou non, positif ou négatif, le risque est donc également **multiforme** et sa prise en compte passe par une démarche intellectuelle plus ou moins formalisée et formalisable : le processus de management des risques.

## 3.2 Le processus de management des risques

L'ISO (International Organization for Standardization, 2008, 2009) définit le Management des Risques comme l'ensemble des « activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque ». Le processus de management des risques est alors présenté comme une « application systématique » d'un certains nombres d'activités, parmi lesquelles cinq processus principaux :

- **L'établissement du contexte** (Establishing the context) : permet de définir l'ensemble des paramètres externes ou internes au système qu'il faut prendre en compte ainsi que les méthodes qui seront utilisées pour l'identification et l'évaluation ;
- **L'identification des risques** (Risk identification) : « processus de recherche, de reconnaissance et description » des sources de risques, leur(s) zone(s) d'impact, les événements potentiels, leurs causes et leurs conséquences possibles. Le but est de construire une liste des risques potentiels. L'identification des risques peut faire appel à des outils classiques tels que : des données historiques, des analyses théoriques, des avis d'experts et autres personnes compétentes, brainstorming... ;
- **L'analyse des risques** (Risk analysis) : « processus mis en œuvre pour comprendre la nature d'un risque ». Il permet d'exprimer quantitativement ou qualitativement l'occurrence et les conséquences de chacun des risques préalablement identifiés. Classiquement, cette étape consiste à établir le niveau de risque, c'est à dire l'importance du risque, « exprimée en termes de combinaison des conséquences et de leur vraisemblance » (un produit le plus souvent) ;



- **L'évaluation des risques** (Risk evaluation) : le but est de proposer un cadre permettant de comparer les risques et de sélectionner ceux qui devront être traités de ceux qui ne le seront pas sur la base de critères<sup>1</sup> définis lors de l'établissement du contexte. Une matrice des risques peut également être utilisée. Elle fait figurer les conséquences et la vraisemblance sur ces deux dimensions. Elle permet d'aider à classer et à visualiser des catégories de risques. C'est aussi à ce niveau que doit être prise en compte l'attitude de l'entité face au risque : goût, tolérance, aversion. Dans la norme, ces trois attitudes sont graduelles : « importance et type d'opportunité qu'elle est prête à saisir » (goût), « disposition à supporter le risque » (tolérance) et attitude de rejet du risque » (aversion) ;
- **Le traitement des risques** (Risk treatment) : consiste dans le choix d'une solution pour traiter le risque et son implémentation (« processus destiné à modifier un risque »). La norme cite plusieurs exemples d'options possibles :
  - éviter le risque : en ne s'engageant pas ou en stoppant la ou les activités associées. Il s'agit typiquement de la décision de ne pas aller à la plage avec une météo incertaine (go no go ?) ;
  - supprimer la source de risque : ne pas emmener le jouet préféré pour éviter de le perdre ;
  - modifier la vraisemblance d'un événement potentiel : tout type de maintenance préventive telle que la vidange de la voiture ;
  - modifier la conséquence : faire voter une loi qui interdit ou limite le nombre d'habitations en zone inondable ;
  - partager le risque avec une autre partie : répartition consentie du risque avec d'autres parties (assurances, contrats...) ;
  - accepter le risque : « maintien du risque fondé sur un choix argumenté ».

La norme précise également que ce processus s'intègre dans une démarche continue de communication avec les différentes parties prenantes (externes ou internes au système) et de mise à jour de l'état de connaissance sur les risques identifiés et/ou évalués et/ou traités.

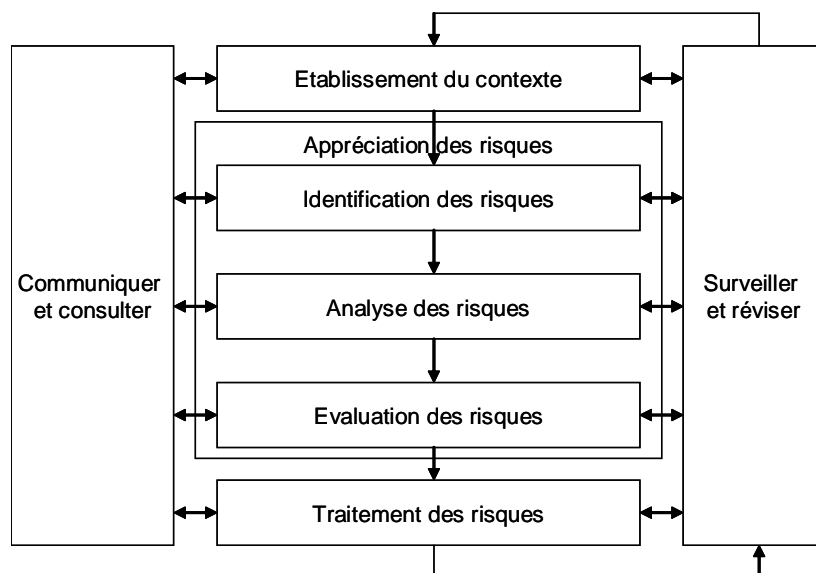


Figure 2.8 : Processus de management des risques (International Organization for Standardization, 2008)

<sup>1</sup> « termes de référence vis-à-vis desquels l'importance d'un risque est évaluée »

### 3.3 La management des risques pour le management des chaînes logistiques (SCRM)

La management des risques est devenu ces dernières années une composante majeure du management des chaînes logistiques (Supply Chain Risk Management, SCRM). G. Zsidisin et R. Ritchie (2008) soulignent le fait que le management des chaînes logistiques (Supply Chain Management, SCM) n'est plus une activité purement réactive consistant à améliorer les capacités de l'organisation à absorber les perturbations. Il s'agit aussi d'une activité préventive (« proactive activity ») et collective cherchant à préserver la création de valeur dans des circonstances potentielles. En d'autres termes, nous pouvons dire que la mission naturelle du SCM est de créer de la valeur au travers de la chaîne, celle du SCRM de préserver cette création.

Si la description des composantes du SCRM varient quelque peu, la majorité des auteurs s'accordent autour des phases proposées par la norme (ISO/DIS 31000). Par exemple, dans le modèle SCOR, le SCRM est défini comme la « systématique identification, évaluation et mitigation des perturbations potentielles de la performance de la chaîne ». Du point de vue du management de la chaîne logistique, les phases principales du SCRM sont donc : l'identification (identique à celle proposée par la norme), l'évaluation (assimilée à une vue agrégée des étapes d'analyse et d'évaluation de la norme), la mitigation (assimilée à la phase de traitement de la norme). Nous avons choisi d'organiser les notions tirées de la littérature autour de ces trois phases, décrites (Tableau 2.2) à partir d'éléments proposés dans la bibliographie par :

- la définition : extraite de la norme ;
- le ou les objectifs : ce qui est attendu à la fin de l'activité ;
- les approches générale utilisables : non mutuellement exclusive ;
- les moyens ou outils généralement utilisés pour mener à bien l'activités : les techniques les plus spécifiques au SCRM apparaissent en gras.

La partie suivante consistera à détailler les éléments présentés dans ce tableau en insistant surtout sur les éléments particulier au SCRM.

	Identification	Evaluation	Traitement
Norme	<u>Processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques</u>	<u>Processus mis en œuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque</u>	<u>Processus destiné à modifier un risque</u>
Objectif(s)	Identification des sources de risque, des événements, de leurs causes et de leurs conséquences potentielles. Obtention d'une liste de risques potentiels pouvant affecter la performance de la chaîne	Comparer les évaluations des risques avec les critères de risque propre au décideur afin de déterminer si le risque et/ou son importance sont acceptables ou tolérables. Proposer une aide à la prise de décision relative au traitement du risque en terme d'évaluation de situations potentielles	Prendre une décision quant à la stratégie choisie pour modifier un risque
Approche(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interne (à l'organisation) / SC (externe à l'organisation mais interne à la chaîne) / Externe (externe à la chaîne)</li> <li>- Physique / Financier / Informationnel / Organisationnel</li> <li>- Autres (horizons de décisions, fonctions,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualitative : nature du risque, conséquence, probabilité, responsabilité, entité(s) affectée(s), objectifs, dépendances entre les risques,...</li> <li>- Quantitative : probabilité (objective, subjective) d'occurrence, mesure des conséquences</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ignorer / accepter le risque</li> <li>- Réduction de la vraisemblance</li> <li>- Réduction des conséquences</li> <li>- Transfert/partage du risque</li> <li>- Plans de contingence</li> <li>- Adaptation</li> <li>- changer d'environnement</li> </ul>
Moyen(s) / Outil(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse des événements passés (cinq « P », diagramme cause effet (Ishikawa), Analyse Pareto analyse, check-list...)</li> <li>- Opinion d'expert (Interviews, réunion de groupe, méthode Delphi, analyse préliminaire,...)</li> <li>- Analyse des opérations (audit, AMDEC, <b>Cartes de contrôle, SC Event Management (SCEM), Value Stream Mapping, SCOR Mapping...</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABC classification (loi de Pareto)</li> <li>- Probabilité × impact</li> <li>- Matrice probabilité impact (matrice des risques)</li> <li>- AMDEC</li> <li>- Arbres de défaillances (Fault tree analysis (FTA))</li> <li>- Analyse de scénario</li> <li>- Simulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assurances</li> <li>- <b>Adaptation de la structure de la chaîne</b></li> <li>- <b>Augmentation des stocks</b></li> <li>- <b>Réserves de capacité</b></li> <li>- <b>Amélioration des prévisions</b></li> <li>- <b>Amélioration de l'agilité</b></li> <li>- <b>Amélioration de la collaboration (CPFR, VMI,...)</b></li> <li>- <b>Stratégie de Production MRPII/JIT</b></li> </ul>

**Tableau 2.2 : Vue d'ensemble des phases, objectifs, approches et outils du SCRM (Bredell, 2004; Brindley, 2004; Peck, 2006; Tang, 2006; Waters, 2007; Supply Chain Council, 2008; Thierry et al., 2008)**

### 3.3.1 Identification

Au travers de ce processus, le ou les organisations cherchent à identifier les risques qui pourraient les empêcher d'atteindre les objectifs de leur chaîne logistique et d'exécuter leurs stratégies (Bredell, 2004). Selon le Supply Chain Council (2008), l'identification des risques précède tout processus d'analyse et de traitement des risques. Les risques ne peuvent pas être évalués ou gérés s'ils ne sont pas identifiés et décrits de manière compréhensible.

#### 3.3.1.1 Approches : exemples de typologies des sources de risque de la chaîne

Au moment d'identifier les risques associés à un système, l'approche la plus classique consiste à distinguer les sources de risques internes et externes au dit système. Si la plupart des auteurs utilisent cette dénomination, il est possible d'en trouver d'autres que nous considérerons ici comme équivalentes<sup>1</sup> : « Macro/Micro » (Shimell, 2001), endogène/exogène, au cœur / non au cœur (« core/non-core ») (Culp, 2001)...

Une vision large de la notion de risques externes à la chaîne est donnée par F. Gillet *et al.* (2007) qui propose une démarche nommée PESTEL dont l'acronyme provient des sources analysées : Politiques, Economiques, Sociologiques, Technologiques, Ecologiques, Légales Figure 2.9.



Figure 2.9 : Risques externes à la chaîne logistique (Gillet et al., 2007)

Si cette opposition reste la base de sa proposition, U. Jüttner (2003) ajoute la notion de réseau. Pour lui, le risque externe intègre les risques politiques, naturels, sociaux ou la volatilité de la demande. Les risques internes sont liés aux grèves, pannes ou système d'information de chaque organisation. La catégorie réseau est quant à elle relative aux risques liés aux interactions entre les organisations. J.W. Deloach (2000) précise, pour sa part, la notion de risque interne en distinguant les risques liés à l'information (qui peut être fausse, plus à jour, non pertinente...) des risques liés aux processus internes. Nous rapprochons cette vision « processus » des travaux de A. Ziegenbein et J. Nienhaus (2004). Ils proposent une classification qui différencie les risques de planification et de pilotage, les risques processus (Source, Make, Deliver) et les risques environnementaux (Figure 2.10) :

- les risques de planification et de pilotage (Planning and control risk) sont issus de l'application ou de la mauvaise application des hypothèses, règles et procédures utilisées par l'entreprise pour planifier et piloter ses processus ;

<sup>1</sup> Nous renvoyons vers la thèse de R.D. Bredell (2004) pour des éclairages sur certaines nuances pour certaines d'entre elles

- les risques d'approvisionnement (Supply risk) sont associés aux fournisseurs et fournisseurs des fournisseurs lorsqu'ils sont incapables de livrer les composants pour respecter la demande ;
- les risques de production (Process risk) sont liés aux interruptions des activités à valeur ajoutée effectuées par l'entreprise ;
- les risques sur la demande (Demand risk) sont associés à la connaissance de la demande des clients sur laquelle s'aligne la chaîne logistique ;
- les risques environnementaux viennent de différentes sources externes qui sont en dehors de la sphère d'influence de l'entreprise, ses clients et ses fournisseurs.



Figure 2.10 : Catégories de risques de la chaîne logistique selon A. Ziegenbein et J. Nienhaus (2004)

En dehors de cette classique distinction entre risques internes et externes, R.S. Gaonkar et N. Viswanadharn (2007) proposent une classification des sources de risques suivant deux dimensions :

- l'horizon de décision : *stratégique*, *tactique* et *opérationnel* ;
- une gradation dans le « type de problème » : cette dimension s'attache plutôt à caractériser la conséquence en différenciant :
  - la *déviaton* : modification d'un paramètre de la chaîne sans que la structure de celle-ci ne soit changée. Il s'agit de la typique variation de la demande, du lead time ou des coûts de transport ou de production ;
  - la *rupture* ou perturbation : occurrence d'une rupture dans la structure de la chaîne. Elle concerne une coupure d'un flux, telle qu'une perturbation physique dans les activités de production, stockage ou transport ;
  - le *désastre* : nous l'avons interprété comme une forme de rupture. Seule la nature exceptionnelle (« catastrophique ») de l'événement à l'origine du risque et le délai d'indisponibilité de la chaîne (« temporary irrecoverable ») la différencie des ruptures plus classiques : attaque terroriste, catastrophe naturelle...

Différents exemples de croisement entre ces deux dimensions sont donnés dans le Tableau 2.3.

	Opérationnel	Tactique	Stratégique
Déviatio	-Variation du lead-time -Variation de la demande	-Variations prévisions demande	-Variation de la capacité de production -Changement du marché
Rupture / Perturbation	-Pannes / Rebut Machines -Panne transport	-Grève d'un acteur -Blocage d'un port	-Disparition d'un acteur

Tableau 2.3 : Exemple de sources de risques dans la classification de R.S. Gaonkar et N. Viswanadharn (2007)

Dans une approche plus globale, nous citerons également, la typologie de risques d'une entreprise définie par R.B. Handfield et K.P. McCormack (2007) autour de quatre familles (risques stratégiques, opérationnels, financiers et liés au hasard) représentés dans un cercle (Figure 2.11). Au centre, sont représentés les événements les plus fréquents. La périphérie comprend des événements moins fréquents mais induisant des impacts importants. En plus « d'aléas » indépendants des acteurs, cette typologie présente bien la source de risque que peuvent représenter les décisions indépendantes de l'acteur ou de ses partenaires (qui inclut la notion de « comportements » définie dans notre problématique) ou les décisions partagées relatives à leurs relations (nos « protocoles »).



Figure 2.11 : Les sources de risques suivant R.B. Handfield et K.P. McCormack (2007)

En conclusion, nous pouvons dire que ce rapide tour d'horizon sur la question de l'identification des risques dans la chaîne logistique montre une assez grande diversité dans les travaux qui s'explique par le contexte précis dans lesquels chacun s'inscrit. Néanmoins, la distinction entre risques internes et externes et l'approche fonctionnelle semblent être les plus couramment

utilisées. La différenciation de plusieurs niveaux de perturbations (déviation, rupture,...) apporte une dimension complémentaire à ces points de vue.

### **3.3.1.2 Outils d'identification**

La majorité des approches et outils qui peuvent être utilisés pour identifier les risques dans la chaîne logistique, sont, pour la plupart, généraux et non dédiés au SCM. Nous renvoyons vers R.D. Bredell (2004) et le Supply Chain Council (2008) pour une liste plus détaillée de ceux-ci.

Certains outils plus spécifiques au contexte du management des chaînes logistiques peuvent être également employés comme les cartes de contrôle ou des outils de visualisation tels que le SCOR mapping et le Value Stream Mapping. Nous citerons également le Supply Chain Event Management (SCEM). Il est présenté comme « peu abordé pour le monde académique » (Otto, 2003). A la base de ce concept, est la constatation qu'au niveau opérationnel peu de choses se déroulent suivant les « plans ». Il faut donc être capable d'identifier, de mesurer et de communiquer rapidement ces déviations (au sens général). Poussé par les développements des outils informatique support du SCM, ce courant est parfois présenté sous l'étiquette de solution informatique ou logicielle. Dans certaines situations, le SCEM peut aller jusqu'au déclenchement d'un plan de réponse préétabli en réponse d'une déviation détectée. Il est à noter que ce genre de situations nécessite un certain degré de connaissance et d'apprentissage sur le risque associé.

## **3.3.2 Evaluation**

### **3.3.2.1 Approches**

La majorité des méthodes d'évaluation classent les risques selon deux axes : l'impact du risque et l'occurrence du risque. La mesure de ces éléments peut être alors exprimée de manière quantitative sous la forme de probabilités, de mesures effectives d'impact (cout mesuré en devises, ruptures mesurées en pièces) ou de manière qualitative souvent exprimée sous la forme d'échelle ordinale (par exemple très élevé, élevé, faible, très faible,...).

### **3.3.2.2 Outils d'évaluation**

Les méthodes les plus utilisées sont les mêmes que celles présentées dans la phase d'identification: le brainstorming, l'analyse des scénarios... (Bredell, 2004; Jüttner, 2005; Asbjornslett, 2008). Parmi celles-ci, nous pouvons souligner l'utilisation de matrice des risques ou de l'approche AMDEC qui associe notamment à chaque risque une mesure de criticité qui est le produit entre la probabilité d'occurrence, l'impact et la détectabilité

A titre d'exemple, la variabilité de la demande du marché occupe une place importante parmi les principales sources de risques du SCM. Elle illustre surtout bien la complexité de l'activité d'évaluation, puisque derrière cette variabilité, se cachent plusieurs phénomènes, notamment en terme de mesure d'impact, qu'il convient d'identifier et de mesurer :

- une variabilité normale du fait d'une saisonnalité ou d'une croissance/décroissance à laquelle peut être associée un modèle issu de la prévision des ventes. La saisonnalité est généralement caractérisée par un pourcentage de variation et une durée. Le changement de tendance prévu est lui défini par un taux de croissance/décroissance ;
- une variabilité autour de la tendance et de la saisonnalité qui traduit une erreur inhérente à toute prévision. Dans ce cas, les outils statistiques sont utilisés. Le plus répandu est l'utilisation d'une loi normale avec moyenne et écart-type pour évaluer ces déviations ;

- des phénomènes de marché difficilement prévisibles et quantifiables (bulle internet, crise boursière...). Dans ce cas, l'avis d'expert associé à des études d'historiques est un moyen couramment utilisé. La difficulté de caractérisation (vraisemblance et conséquence) peut faire privilégier des approches qualitatives de la matrice des risques où la dimension vraisemblance s'étend d'un risque très rare à presque certain et la conséquence de minimal à catastrophique (exemple d'échelle proposée par R.D. Bredell (2004)).

### 3.3.3 Traitement

Le traitement, ou mitigation, des risques consiste à identifier des actions pour faire face à ces risques, mais surtout à choisir parmi ces actions laquelle ou lesquelles implanter (accepter, refuser, modifier la vraisemblance, la conséquence, partager...). Se posent ici la question de réussir à identifier ce qu'il est possible de faire : quels sont les leviers sur lesquels jouer ? Il s'agit de la question sur ce qu'il est possible de faire. Cela va donc nous faire aborder la question de la flexibilité et les différents sens qui lui sont accordés :

- de manière générale (§3.3.3.1) ;
- individuelle à chaque acteur de la collaboration (§ 3.3.3.2) ;
- collective (§3.3.3.3) : regroupe les leviers de collaboration au centre de nos intérêts et dont nous analyserons deux exemples particuliers : le VMI et l'engagement d'approvisionnement (§3.3.3.4).

#### 3.3.3.1 Des leviers pour agir : une ou des flexibilité(s) ?

Du latin *flexibilis* (qui peut se courber, souple), le langage courant attribue un sens varié au terme flexibilité, comme le montre les quelques exemples suivant :

- Propriété selon laquelle un matériau souple peut être aisément courbé ou plié sans se rompre (physique) ;
- Propriété de la voix (musique) ;
- Caractéristique d'un individu se traduisant par la facilité à appréhender des données sous des angles différents ou à imaginer des solutions diverses à un problème (psychologie).

Il semble néanmoins se dégager un fil conducteur. La flexibilité peut être décrite comme une caractéristique, une propriété intrinsèque du système (matériaux, voix, caractère). Le qualificatif intrinsèque fait ici référence au fait que cette propriété ou caractéristique peut être mesurée, vérifiée ou constater indépendamment de tout contexte. La flexibilité traduit alors la « capacité à faire » et non le « faire ».

Dans cette partie nous allons nous attacher à analyser l'utilisation du mot flexibilité dans le domaine du SCM. Il est considéré pour beaucoup comme un terme « parapluie » masquant un grand nombre de sens et d'utilisations. A. De Toni et S. Tonchia (1998) soulignent d'ailleurs bien qu'en dépit de vastes travaux académiques et industriels, les définitions données sur le terme flexibilité restent peu claires et souvent ambiguës. Il semble difficile d'identifier un véritable consensus pour définir clairement ce terme. Les notions englobées par le terme flexibilité changent d'un auteur et/ou d'un domaine à l'autre. A.K. Sethi et S.P. Sethi (1990) ont quantifié cette diversité en relevant plus de 50 termes différents pour caractériser la flexibilité dès le début des années 90. Les différentes revues et travaux, expliquent cette diversité dans les termes et les définitions par la nature multidimensionnelle de la flexibilité et par la variété des points de vue (Sethi and Sethi, 1990; Shewchuk and Moodie, 1997, 1998; Parker and Wirth, 1999; Golden and Powell, 2000).

Cette notion de flexibilité dans la gestion des flux est loin d'être nouvelle, le terme étant déjà employé, par exemple, au début des années 80 par D.B. Webster and M.B. Tyberghein (1980)<sup>1</sup>. Nous ne manquons donc pas de cas ou articles de recherche qui étudient un levier particulier et donc dans la plupart des cas son utilisation dans une situation donnée. Par conséquent, dans notre étude, nous nous sommes plutôt concentrés sur un certain nombre de revues de littérature qui ont cherché à classer les leviers possibles en restant du point de vue « capacité à faire » et en se détachant de contextes particuliers.

Ce point de vue correspond à la flexibilité « absolue » de G. Chryssolouris et M. Lee (1992) qui est alors vue comme une caractéristique intrinsèque au système (Marquès et al., 2009a). Elle caractérisera donc l'espace de liberté que représentent les variables de décisions et contraintes associées. Les variables de décisions correspondent à des facteurs maîtrisables du système. L'ensemble des valeurs que peuvent prendre ces variables constituent un espace de degrés de liberté qui ont une influence sur le comportement du système. Au final, nous avons choisi de caractériser une variable de décision autour de trois dimensions :

- l'espace de variation (largeur du domaine) ;
- la rapidité de mise en œuvre de la variation (temps de passage d'un état disponible à une autre) ;
- le coût de la variation (coût du passage d'un état disponible à une autre) ;

Notons que nous parlons d'états disponibles pour caractériser les états connus du système à un instant donné. Des actions pour améliorer la flexibilité sur chacune des trois dimensions peuvent être menées en plus (chacune ayant un coût et un délai de mise en place).

Dans cette partie nous allons chercher à proposer une classification des différentes formes de flexibilité. En premier lieu, la flexibilité est prise ici comme synonyme de leviers de décisions. Or, nous avons vu plus haut, que les entités d'une chaîne logistique évoluent avec une double préoccupation : individuelle mais aussi collective. Notre premier critère de différenciation concerne donc la « possession » du levier de décision. Il peut être soit pleinement sous l'autorité de l'entité, soit partagé. Ceci nous fait donc distinguer deux *espaces* :

- une **flexibilité individuelle** qui reflète l'espace de liberté de l'entité en tant qu'individualité. Elle regroupe la quasi totalité des utilisations du terme flexibilité trouvées dans la littérature. Une telle diversité s'explique surtout par la multiplication des *points de vue* et donc des fonctions concernées de l'organisation :
  - flexibilité sur la *demande* : regroupe les leviers de décision relatifs à une demande connue (réelle). Elle concerne souvent l'interface commerciale de l'entité ;
  - flexibilité sur l'*offre* : regroupe les leviers de décision relatifs à la position sur le marché (notamment en terme de choix de produits). Elle concerne la plupart du temps les fonctions stratégiques et l'interface commerciale ;
  - flexibilité sur les *processus internes* : regroupe les leviers de décision relatifs aux processus de production et de planification. Ici, n'est pas question d'interface avec l'extérieur de l'entité. Ce sont plutôt les fonctions productions et planifications qui sont en jeu ;
  - flexibilité sur la *source* : regroupe les leviers de décision relatifs à la fonction achat et sa gestion des fournisseurs ;
- une **flexibilité collective** qui reflète l'espace de liberté de l'entité en tant que partie prenante d'une coopération (au sens large). Elle caractérise la capacité de l'entreprise

<sup>1</sup> Nous ne prétendons pas que ces auteurs sont les précurseurs dans notre domaine. Il s'agit ici d'illustrer le fait que la flexibilité est une notion ancienne (même avant 1980)



à changer de forme de coopération. Ce changement nécessitant un accord et/ou des pré requis de la part du partenaire (au sens autre partie prenante de la coopération), d'où l'aspect « partagé » du levier. Là aussi plusieurs *points de vue* peuvent être distingués :

- flexibilité sur le *processus d'approvisionnement* : regroupe les différents processus de collaboration, c'est à dire les différents types de contrats qu'il est possible d'établir entre les partenaires ;
- flexibilité sur le *prix d'achat* : regroupe les différents contrats qui ont une influence sur le prix d'achat des articles ou le partage des revenus.

Bien entendu, ces deux *espaces* de flexibilité ne sont pas indépendants et il peut y avoir des interactions fortes entre eux. Cette interaction, cette interdépendance, est également valable pour les *points de vues* à l'intérieur de chacun des deux espaces, puisqu'un levier d'un certain *point de vue* peut nécessiter un levier d'un autre *point de vue*.

Notre vision de la flexibilité est illustrée par la Figure 2.12. La dépendance entre espaces de flexibilité individuelle et collective apparaît dans leur imbrication. L'entité y est représentée comme impliquée dans plusieurs collaborations. Les axes verticaux et horizontaux permettent de faire apparaître des collaborations liées à des chaînes logistiques différentes. La performance de chacune est liée aux autres au travers des dépendances avec la flexibilité individuelle avec qui toute sont en relation.

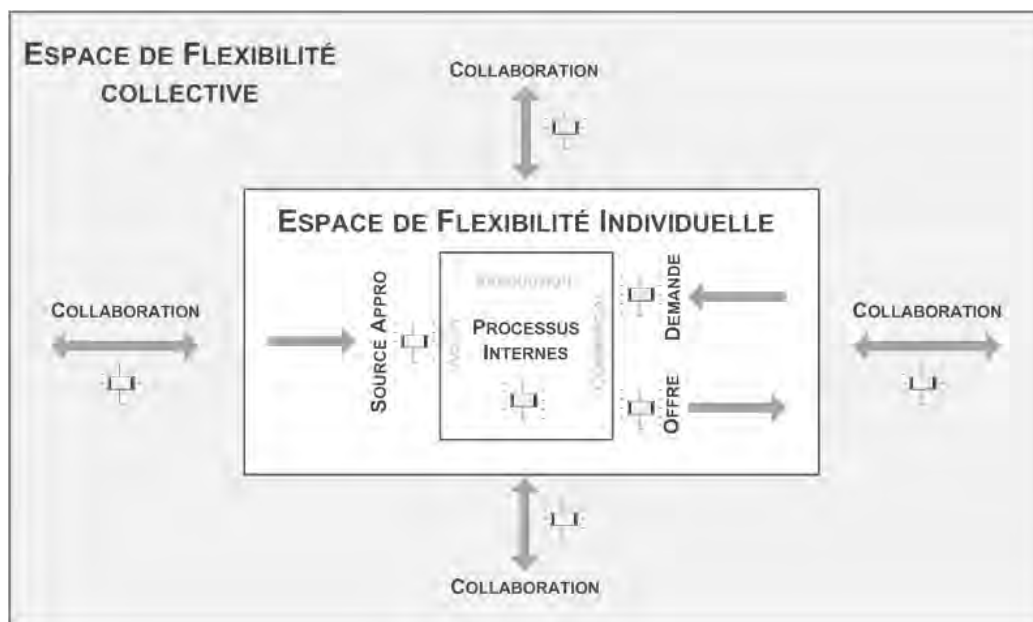


Figure 2.12 : Notre vision de la flexibilité (collective et individuelle)

Nous allons désormais passer en revue ces différentes formes de flexibilité.

### 3.3.3.2 Flexibilité individuelle

Ici, nous décrivons les différents *points de vues* identifiés pour caractériser le flexibilité individuelle. Le Tableau 2.4 permettra de donner une vue synthétique de ceux-ci.

Leviers relatifs aux sources d'approvisionnement :

L'une des questions principale dans la gestion des sources d'approvisionnement concerne la décision sur le nombre de fournisseurs par référence à acheter. Nous avons choisi ici le terme

*nombres de sources* pour décrire la capacité de l'entité à faire varier le nombre de sources d'approvisionnement en composants et matières premières. Notons que le choix peut varier d'un produit à l'autre. Il dépend de la criticité du produit pour l'acheteur (plus un produit est critique, plus un fournisseur partenaire qui soit capable de faire face aux risques rencontrés est habituellement préférable), et de l'équilibrage des pouvoirs entre acheteur et vendeur.

Sur la question de la gestion des fournisseurs, J.R. Dixon *et al.* (1990) ajoute la question de la capacité du système à accepter des variations sur la qualité des approvisionnements (« Flexibility relative to materials ») (appelée ici *qualité appro.*).

#### Leviers relatifs à la demande :

Les leviers relatifs à la demande sont nombreux. Nous avons choisis de les classer en trois catégories :

- leviers sur le *délai* : capacité à faire varier la date de livraison, nommée « delivery flexibility », (Slack, 1987) ou « promptness flexibility » (Bartezzaghi and Turco 1989) ;
- leviers sur la *quantité* : capacité à modifier la quantité (« volume flexibility ») sur une référence (Macbeth 1985) ou sur plusieurs (demande agrégée) (Gerwin, 1993);
- leviers sur la *référence* : capacité à pouvoir substituer une référence par une autre dans une commande.

J.R. Dixon et al. (1990) adoptent une vision globale et proposent une flexibilité du service (« Flexibility relative to service ») reprenant les trois catégories.

#### Leviers relatifs à l'offre :

Il s'agit d'un sujet souvent abordé dans la littérature. Tous les articles de ce groupe s'attache à la capacité de l'entité à faire varier son mix produit. La plupart des auteurs entendent par là l'ajout de nouveaux produits au mix-produit ou la modification des spécifications d'un produit existant. L'appellation « product flexibility » est la plus courante (Browne et al., 1984; Slack, 1987; Azzone and Bertele, 1989; Sethi and Sethi, 1990; Gerwin, 1993).

Certains auteurs nuancent un peu cette notion en ajoutant des préoccupations liées aux coûts (« Flexibility relative to service » (Dixon et al., 1990) et « Product flexibility » (Bartezzaghi and Turco 1989)) ou liées à la rapidité de la modification (« Change-over flexibility » (Gerwin, 1993)).

#### Leviers relatifs aux processus internes :

Les leviers relatifs aux processus internes réfèrent à une large part des contributions trouvées dans la littérature. Nous avons choisi de distinguer cinq catégories :

- leviers sur le *volume* : capacité à modifier les volumes de production (« volume flexibility » (Browne et al., 1984; Sethi and Sethi, 1990)). G. Azzone et U. Bertele (1989) ajoutent la dimension coût ;
- leviers sur le *process* : capacité à pouvoir changer de production d'articles en un temps minimal. Ce changement entraine la reconfiguration du système de production dans sa globalité (« production flexibility » (Sethi and Sethi, 1990), « process flexibility » (Browne et al., 1984; Parker and Wirth, 1999)
- leviers sur les *opérations* : capacité à modifier la gamme opératoire d'un produit donné en modifiant la séquence des opérations (« operation flexibility » (Browne et al.,

- 1984; Sethi and Sethi, 1990), « sequencing flexibility » (Benjaafar and Ramakrishnan 1996), « very Short term flexibility » (Merchant, 1983), « processing flexibility » (Benjaafar and Ramakrishnan 1996) ;
- leviers sur les *machines* : ensemble des opérations que peut effectuer la machine sans une reconfiguration majeure (« machine flexibility », (Buzacott, 1982; Browne et al., 1984; Sethi and Sethi, 1990)). I.J. Chen et al. (1992) parlent explicitement de temps de set-up limités.
  - leviers sur la *manutention* : capacité à bouger et à positionner facilement les pièces à l'intérieur de l'usine / de l'atelier (« material handling flexibility », (Sethi and Sethi, 1990)) ;
  - leviers sur *l'interchangeabilité* : réfère globalement à la capacité à réaliser une même (ou plusieurs) opération(s) sur des machines différentes sous différentes appellations (« routing flexibility » (Browne et al. 1984), « transfer flexibility » (Barad and Sipper 1988), « operation flexibility » (Benjaafar and Ramakrishnan 1996), « standard cycle flexibility » (Chen et al., 1992; Gerwin, 1993)). G. Azzone et U. Bertele (1989) parlent de capacité à produire malgré les pannes. M.E. Merchant (1983) décrit, lui, avec son « instantaneous flexibility » la capacité à immédiatement sélectionner le meilleur centre de travail pour réaliser l'opération demandée.
  - levier sur le *capacité de production* : capacité à modifier les capacités de production (« expansion flexibility », (Browne et al., 1984; Sethi and Sethi, 1990), « medium-Long term flexibility » (Merchant 1983)). Sous l'appellation générale « volume flexibility », E. Bartezzaghi et F. Turco (1989) reprennent l'« expansion flexibility », mais la dédie au moyen et long terme. Ils parlent de « manpower flexibility » à court terme.

#### Bilan sur les leviers de décision :

Le Tableau 2.4 résume l'ensemble des leviers de décisions (ou *points de vue*) que nous venons de présenter sur l'espace de flexibilité individuelle. Pour rappel, dans celui-ci, nous avons tenté de croiser les apports de plusieurs revues de littérature (Sethi and Sethi, 1990; Shewchuk and Moodie, 1997, 1998; Parker and Wirth, 1999; Golden and Powell, 2000). La dernière colonne donne les références aux papiers et les intitulés des flexibilités dans leur langue originale. Il ne s'agit pas seulement de donner des listes d'expressions classées ici par degré d'équivalence. Il s'agit surtout de montrer la diversité de la sémantique et expliquer pourquoi il est aujourd'hui « délicat » d'utiliser le terme « flexibilité ». La colonne « idée » donne une brève description des notions associées et permet de nuancer certaines définitions d'un auteur à l'autre. Les deux premières colonnes permettent, elles, de retranscrire les regroupements que nous avons effectué :

- la colonne « Nom » permet de regrouper, sous une même appellation, différentes sortes de flexibilité aux noms originaux différents mais qui touche à la même chose ;
- la colonne « Décomposition Fonctionnelle » permet de réaliser des regroupements aux vues de la fonction touchée au sein de l'organisation ;
- la colonne « Décomposition Temporelle » permet de regrouper en fonction de l'horizon temporel impliqué : stratégique, tactique ou opérationnel.

Enfin, un code (\*, \*\* ou rien) permet de différencier :

- (\*\*) ce qui était dit explicitement dans les textes ;
- (\*) ce qui a été complété sur la base de (Shewchuk and Moodie, 1997, 1998) ;
- ( ) ce qui a été rajouté par notre initiative après analyse.

Point de vue	Nom	Décomposition Fonctionnelle	Décomposition Temporelle	Idée/Nuances	Dénomination(s) / Auteur(s)
DEMANDE	Délais	Commercial - Livraison	Tactique - opérationnel	Capacité à faire varier la date de livraison	Delivery flexibility (Slack, 1987)
			Tactique - opérationnel	Capacité à faire varier la date de livraison et/ou la planification interne	Promptness flexibility (Bartezzaghi and Turco, 1989)
	Quantité		Tactique - opérationnel	Possibilité pour le client de faire varier la dimension des commandes	Volume flexibility (Macbeth, 1985)
			Tactique*	Capacité à traiter des variations dans la demande (aggregate demand)	Volume flexibility (Gerwin, 1993)
	Délais – Quantité - Référence		Tactique - opérationnel	Capacité à modifier le contenu ou la date d’une commande	Flexibility relative to service (Dixon et al., 1990)
	Référence		Opérationnel	Capacité de substitution	
OFFRE	Mix-Produit	Production - Commercial	Opérationnel	Capacité à changer, à produire de nouveaux produits	Product flexibility (Browne et al., 1984) (Sethi and Sethi, 1990)
			Stratégique	Aptitude à lancer ou modifier des nouveaux produits ou des produits existants	Product flexibility (Slack, 1987)
			Stratégique	Capacité à modifier les ressources de l’entreprise afin de lancer un nouveau produit	Product flexibility (Azzone and Bertele, 1989)
			Opérationnel**	Capacité à modifier certains éléments de spécifications d'un produit	Short term flexibility (Merchant, 1983)
			Tactique**	Possibilité d'ajouter ou d'éliminer une partie du mix-produit	Medium term flexibility (Merchant 1983)
			Stratégique	Capacité à modifier la variété des produits (mix) dans une période donnée et des coûts limités	Flexibility relative to service (Dixon et al., 1990); Product flexibility (Bartezzaghi and Turco 1989)
			Stratégique	Capacité à répondre aux besoins du marché en terme de spécification produits	Products flexibility (Gerwin, 1993)
			Opérationnel	Capacité à produire des articles avec différents niveaux de qualité	Flexibility relative to the output (Dixon et al., 1990)
			Stratégique	Capacité en durée à modifier le mix produit (vitesse)	Change-over flexibility (Gerwin, 1993)
			Stratégique*	Ensemble des articles produits	Production flexibility (Browne et al. 1984)
			Stratégique	Largeur du domaine des produits que peut faire l’entreprise avec les ressources existantes	Production flexibility (Azzone and Bertele 1989)

Point de vue	Nom	Décomposition Fonctionnelle	Décomposition Temporelle	Idée/Nuances	Dénomination(s) / Auteur(s)
			Stratégique	Capacité à répondre aux besoins client en terme de variété produits	Mix flexibility (Gerwin, 1993)
PROCESSUS INTERNES	Volume	Production	Stratégique* - Tactique*	Capacité à modifier les volumes de production	Volume flexibility (Browne et al. 1984) (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990) (Slack, 1987) Flexibility relative to service (Dixon et al., 1990)
				Capacité à modifier le volume de production sans conséquences « fortes » sur les coûts	Volume flexibility (Azzone and Bertele 1989)
	Machine		Opérationnel	Ensemble des opérations que peut effectuer la machine sans une reconfiguration majeure	Machine flexibility (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990), (Buzacott, 1982) et (Browne et al. 1984) (mesure), Process flexibility (Azzone and Bertelè 1991)
				Capacité à faire différentes opérations avec des temps de set-up limités	Machine flexibility (Chen et al., 1992)
	Process		Stratégique*	process + routing + product	Production flexibility (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990)
			Opérationnel	Capacité à pouvoir changer de production d’articles en un temps minimal (reconfiguration du système de production)	Process flexibility (Browne et al. 1984) (Parker and Wirth, 1999)
	Manutension		Opérationnel	Capacité à bouger et à positionner facilement les pièces à l’intérieur de l’usine / de l’atelier	Material handling flexibility (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990)
	Opérations		Opérationnel**	Capacité de modifier la gamme opératoire d’un produit donné en modifiant la séquence des opérations	Operation flexibility (Browne et al. 1984) (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990)
				Possibilité d’inter-changer la réalisation d’étapes de production	Sequencing flexibility (Benjaafar and Ramakrishnan, 1996)
				Capacité à modifier la séquence de la production	Very Short term flexibility (Merchant 1983)
				Capacité de produire un même article avec des opérations et/ou séquences d’opérations différentes	Processing flexibility (Benjaafar and Ramakrishnan 1996)
	Interchangeabilité		Opérationnel**	Capacité à produire un ensemble donné d’articles sur des machines différentes	Routing flexibility (Browne et al. 1984)

Point de vue	Nom	Décomposition Fonctionnelle	Décomposition Temporelle	Idée/Nuances	Dénomination(s) / Auteur(s)
				Capacité à produire sur une machine différente	Transfer flexibility (Barad and Sipper, 1988)
				Possibilité de réaliser une opération sur plus d’une seule machine	Operation flexibility (Benjaafar and Ramakrishnan 1996)
				Capacité à avoir des options différentes	Standard cycle flexibility (Gerwin, 1993) (Chen, Calantone, and Chung 1992), (Buzacott 1982) (mesure)
				Capacité à produire malgré les pannes	Cycle flexibility (Azzone and Bertelè 1991)
				Capacité à immédiatement sélectionner le meilleur centre de travail pour réaliser l'opération demandée	Instantaneous flexibility (Merchant 1983)
	Capacité de production		Opérationnel** - Tactique**	Capacité du système de production à travailler à capacité maximum lorsque le volume de production varie	Short-Medium term flexibility (Merchant 1983)
			Stratégique*	Aptitude du fournisseur à ajuster facilement ses capacités de production à un niveau désiré	Expansion flexibility (Browne et al. 1984) (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990)
			Tactique** - Stratégique**	Capacité de modifier la capacité de production en ajoutant ou en éliminant une partie des centres de travail	Medium-Long term flexibility (Merchant 1983)
			Tactique - Stratégique	Capacité à modifier les capacités de production : CT : manpower flexibility MT/LT : expansion flexibility	Volume flexibility (Bartezzaghi and Turco 1989)
	Programme		Opérationnel*	Capacité du système à fonctionner sans surveillance sur une longue période	Program flexibility (Andrea Krasa Sethi and Suresh Pal Sethi 1990)
Positionnement stratégique	Stratégie de l’entreprise	Stratégique**	Possibilité d'adapter le système à de nouveaux types de production et/ou produits	Long term flexibility (Merchant 1983)	
FOURNISSEUR	Qualité appro.	Approvisionnement	Tactique - opérationnel	Capacité à faire avec des variations de qualité sur les composants	Flexibility relative to materials (Dixon et al., 1990)
	Nombre de sources	Achat/Appro	Stratégique - Tactique	Capacité à faire varier le nombre de source d’approvisionnement en composants et matières premières	

Tableau 2.4 : Synthèse des travaux sur la notion de « flexibilité individuelle »

### 3.3.3.3 Flexibilité collective

La flexibilité collective touche aux leviers de décisions qui impliquent le rapprochement d'au moins deux entités de la chaîne dans une démarche de collaboration. La notion de contrat ou de « bonnes pratiques de collaborations » peut être considérée alors comme centrale dans cette gestion de la relation et nous renvoyons vers les travaux de thèse A. Amrani-Zouggar (2009) pour plus de détails sur le sujet. Elle peut être reliée au concept de protocole que nous avons défini dans l'introduction générale. Deux *points de vue* (potentiellement complémentaires) peuvent être distingués :

- les leviers relatifs au *processus d'approvisionnement*. Il s'agit ici de caractériser les modes de coopérations disponibles. Il traduira la capacité à faire évoluer le mode de coopération entre deux acteurs. Ci-dessous quelques exemples de contrats parmi les plus régulièrement évoqués dans la littérature et/ou rencontrés dans la réalité :
  - Contrat de commande classique : traditionnel flux poussé où le client émet une commande (une quantité, une date) et le fournisseur y répond ;
  - Contrat kanban : traditionnel flux tiré entre le client et le fournisseur où la consommation du stock de composants client induit des besoins de livraisons chez le fournisseur ;
  - Contrat de type Gestion Partagée des approvisionnements : ce type de contrat sera abordé plus en détails plus loin dans ce chapitre ;
  - Contrats avec quantité flexible : distinction de plusieurs horizons avec affinement de la précision sur la quantité demandée (Galasso, 2007) ;
  - Contrat avec horizon fixé ou contrat sur engagement d'approvisionnement : voir plus bas (Telle, 2003). Ce type de contrat sera également abordé plus en détails plus loin dans ce chapitre.
- les leviers sur le *prix d'achat*. Cette famille regroupe tous les leviers relatifs aux accords entre les services commerciaux des partenaires, par exemple :
  - Contrat avec appels d'urgence autorisés (avec surcout contractuel) : arbitrage à trouver entre coût de stockage et d'urgence ;
  - Contrat avec retour (ou rachat) de produits : rachat par le vendeur à prix fixé ;
  - Contrat avec partage des revenus : en contrepartie d'un prix d'achat des produits plus faible, le vendeur reçoit un pourcentage du chiffre d'affaire de l'acheteur.

La mise en place de protocoles de plus de plus évolués est synonyme d'un renforcement de la coopération. S'ils incitent acheteur et vendeur à aligner leurs comportements dans l'intérêt de la chaîne logistique, leur définition nécessite de nombreux paramètres à négocier entre acheteur et vendeur. La définition de ces paramètres peut s'avérer difficile et devenir une nouvelle source de risque, tant ces relations nécessitent des réglages fins dans certaines situations (contexte + comportements internes des acteurs). Ceci contribue à souligner l'interaction forte entre flexibilité collective et individuelle décrite plus haut.

L'intérêt de ces collaborations est habituellement mesuré grâce au compromis entre le niveau des stocks et le taux de service obtenus. Il est à noter que pour gagner sur les deux dimensions, il faut pouvoir développer le degré de collaboration afin que chaque partenaire intègre parfaitement les contraintes et leviers de l'autre.

Tous ces processus requièrent finalement le partage avec « l'autres » d'informations habituellement jugées confidentielles. Ils nécessitent donc un degré de confiance important entre les acteurs. Ceci est parfois contradictoire avec les conflits de pouvoir inhérents aux relations entre acheteurs et vendeurs. De plus, ces processus nécessitent des échanges massifs et rapides d'informations. Cela suppose que les systèmes d'information des partenaires soient suffisamment matures pour pouvoir supporter ces processus collaboratifs. Au final, l'intérêt du partage d'information peut-être multiple :

- visibilité des changements sur le marché ;
- meilleure maîtrise des besoins ;
- réduction de l'effet coup de fouet.

En introduction de ce manuscrit, nous avons souligné la mauvaise performance de certaines de ces bonnes pratiques dans des contextes particuliers caractérisé par une incohérence entre protocole(s), comportement(s) et aléa(s). Afin de pouvoir simuler l'effet de certains de ces leviers, nous nous sommes particulièrement intéressés à deux processus d'approvisionnement : la *Gestion Partagée des Approvisionnement* (GPA) ou *Vendor Managed Inventory* (VMI) et *l'engagement sur approvisionnement*.

### **3.3.3.4 Focus sur des leviers de collaboration étudiés dans nos travaux**

#### **(i) Le Vendor Managed Inventory (VMI) :**

Une bibliographie complète sur le VMI a été proposée dans (Marques *et al.*, 2010a) et nous renvoyons vers l'Annexe 1 pour les détails de celle-ci. Dans ce manuscrit, nous avons choisi de reprendre des éléments de la contribution (Marquès *et al.*, 2009b), certes moins étayée en termes de couverture de la littérature, mais qui a l'avantage de situer la notion de VMI vis à vis des traditionnelles collaborations à la commande (flux poussé – MRPII) et kanban (flux tiré – JIT).

Le Supply Chain Council (2008) définit le VMI comme « un concept pour planifier et contrôler les stocks, dans lequel le fournisseur a accès aux données de stock du client et est en charge de maintenir ce stock à un niveau donné ». Avec le VMI, la décision d'approvisionnement devient responsabilité du fournisseur.

Le VMI vient du secteur de la distribution. Son succès est d'ailleurs traditionnellement illustré au travers de l'exemple de collaboration entre Wal-Mart et Procter & Gamble aux Etats-Unis. Néanmoins, il est possible de trouver des études dans d'autres secteurs : l'électroménager (De Toni and Zamolo, 2005), l'automobile (Gröning and Holma, 2007) ou l'alimentaire (Clark and Hammond, 1997; Kaipia *et al.*, 2002; Deakins *et al.*, 2008). Les principaux objectifs associés à la mise en place du VMI ont été grandement débattus (voir (Marques *et al.*, 2010a)). D'après notamment C.S. Tang (2006) ou S. Rouibi *et al.* (2010), l'objectif du client est d'assurer un certain niveau de service tout en baissant le niveau de stock de matières premières. Pour le fournisseur, il s'agit plutôt de maîtriser des coûts de transport, de production et de stockage. M. Holweg *et al.* (2005) ajoutent que le VMI accélère les flux de la chaîne et permet de lutter contre l'effet coup de fouet (Achabal *et al.*, 2000; Cetinkaya and Lee, 2000; Disney and Towill, 2003; Holweg *et al.*, 2005). Ces objectifs sont résumés dans la Figure 2.13.



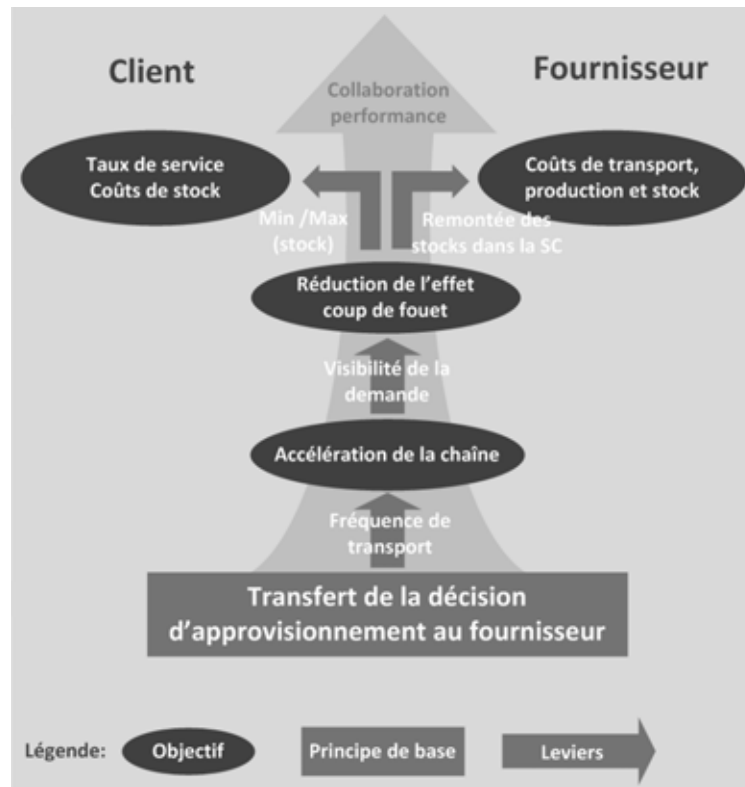


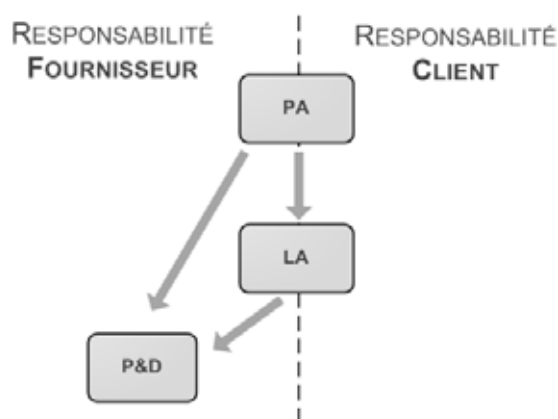
Figure 2.13 : Objectifs et leviers du VMI (Marques et al., 2010a)

Dans (Marquès et al., 2009b) et (Marques et al., 2010a), nous avons souligné que le VMI est plus qu'un simple système de réapprovisionnement sur l'horizon court-terme. En fait, il s'agit d'un protocole de collaboration plus large intégrant des échanges à des niveaux tactiques voire stratégique. Nous avons défini le VMI comme :

- un système de réapprovisionnement inspiré de la philosophie flux tirée,
- où le fournisseur est en charge de l'approvisionnement du stock client,
- à l'intérieur d'un cadre collaboratif moyen-long terme donné (niveaux min/max à l'intérieur duquel le stock client doit être conservé).

Cette définition a permis la proposition d'un macro-processus du VMI, structuré autour des trois niveaux décisionnels (et illustré dans la Figure 2.14) :

- un processus « Partnering Agreement » (PA) au niveau stratégique : processus devant permettre l'intégration des processus VMI dans les processus de planification des différents acteurs (design des processus de la collaboration) ;
- un processus « Logistical Agreement » (LA) au niveau tactique : processus de négociation servant principalement à définir les niveaux min et max. Le mot négociation est à prendre au sens large. Celle-ci peut tourner court dans des situations de dominance d'un acteur sur l'autre ;
- un processus « Production & Dispatch » (P&D) : processus de gestion des flux opérationnels à la charge du fournisseur (décision sur les quantités à produire et à livrer).



**Figure 2.14 : Proposition d'un macro-processus du VMI**

Pour justifier l'appartenance à la philosophie JIT, nous nous sommes appuyés sur un certain nombre de travaux qui établissent des critères de comparaisons entre flux poussés et flux tirés (Spearman and Zazanis, 1992; Benton and Shin, 1998; Ho and Chang, 2001). Nous avons plus particulièrement retenu deux des trois critères (questions) de distinction proposés par W.C. Benton et H.J. Shin (1998) :

- $C_1$  : l'ordre, le déclenchement de l'OF (OA) : Quel est l'événement qui déclenche le processus (fabrication, approvisionnement) ?
- $C_2$  : l'en-cours : Quel contrôle de l'en-cours ?

$C_1$  : un ordre déclenché par le besoin :

D'une part, J. Tyan et H-M. Wee (2003) montrent que le VMI s'inscrit dans la droite lignée de systèmes tels que la Quick Response (QR) et le Continuous Replenishment Policy (CRP). D'autre part, ODETTE (2004) accentue ce lien à l'esprit flux tiré en définissant que la quantité et la date d'approvisionnement sont déterminées par le fournisseur sur la base des données de consommation de stock client. La consommation planifiée ne doit pas être prise en compte pour faire la décision de livraison. Elle n'intervient que dans la détermination des niveaux objectifs minimum et maximum.

$C_2$  : des niveaux min et max pour contrôler l'en-cours :

Avec le VMI, le fournisseur acquiert deux leviers de décisions. C'est à lui de décider des quantités mais aussi des dates de toutes ses livraisons (Rusdiansyah and Tsao, 2005). Néanmoins, la coopération garde un certain contrôle sur ces nouveaux degrés de liberté. Il doit maintenir le niveau de stock client dans des limites préalablement définies (Tang, 2006), basées sur les notions de minimum et de maximum contractuel (ODETTE, 2004). La détermination des niveaux min et max est l'enjeu du processus de négociation moyen-terme régulièrement reconduit pour coller au mieux aux évolutions du contexte de la collaboration (notre processus LA). S'il n'y a pas d'« étiquettes » à proprement parler, le VMI permet un vrai contrôle de l'en-cours de livraison. Le min permet de fixer un niveau de sécurité sur le taux de service du client. Le max, permet de limiter un comportement fournisseur qui tendrait à livrer dès que possible afin de ne plus avoir à supporter les coûts de stockage. En effet, VMI et consignation sont bien deux choses distinctes. En VMI, seule la décision d'approvisionnement est transférée au fournisseur (quantité, date). Le coût de possession du stock reste à la charge du client. Dans les faits, il peut y avoir du VMI avec ou sans consignation.

Au final, nous pouvons synthétiser cette comparaison Poussé/Tiré/VMI au travers du Tableau 2.5. Le VMI apparaît alors clairement comme appartenant à la philosophie flux tirée.

	<b>C<sub>1</sub> : « Order Release »</b>	<b>C<sub>2</sub> : « Work in Progress »</b>
<b>Poussé</b>	Besoin <i>Prévisionnel</i>	<i>Non contrôlé</i> (« infinte queuing »)
<b>Tiré</b>	Consommation <i>réelle</i>	Quantité <i>fixée</i> (nombre de kanban)
<b>VMI</b>	Consommation <i>réelle</i>	Intervalle <i>limitée</i> (min/max)

Tableau 2.5 : VMI, poussé ou tiré ?

**(ii) L'engagement sur approvisionnement :**

Un accord de type *engagement sur approvisionnement* repose, d'une part, sur un engagement d'approvisionnement sur de gros volumes à long terme de la part du client, et d'autre part, sur un appel des livraisons à délai réduit. Le client et le fournisseur définissent ensemble des familles de produits, appelés segments, qui traduisent les contraintes de production du fournisseur. Chaque segment et chaque référence à l'intérieur de celui-ci sont caractérisés par une quantité minimale de commande. Pour chaque référence, le fournisseur doit contractuellement détenir en stock la totalité de l'engagement à la date du premier besoin associé. Le client est ensuite libre d'appeler, à court terme, les livraisons au gré de ses besoins.

Cet accord a tendance à déporter le stock du client vers son fournisseur ce qui peut présenter, au premier abord, un inconvénient pour ce dernier. Néanmoins, pour les fournisseurs caractérisés par de fortes contraintes de temps de préparation et de gros lots de production, l'engagement contractuel sur de grosses quantités permet de limiter les risques à lancer de grosses quantités en production. Il permet également de se prémunir des variations trop fortes de la demande (qui affaiblissent considérablement les performances d'un mode de fonctionnement à la commande classique dès lors que ces variations sont fortes avec une flexibilité fournisseur réduite). En d'autres termes, il permet de couvrir le risque lié à la « surproduction » due aux contraintes de production du fournisseur (taille de lot). L'expression « surproduction » renvoie au fait qu'avec un accord classique pour une quantité commandée par le client, le fournisseur doit produire une quantité bien supérieure pour respecter sa taille de lot. L'écart entre la quantité commandée et la quantité produite représente un risque pour le fournisseur puisqu'il doit porter le stock sans assurance aucune qu'il sera consommé par des commandes futures. Avec le protocole *engagement sur approvisionnement*, ce risque disparaît. De plus, le plan d'approvisionnement portant sur de grosses quantités de besoins, l'engagement transmis couvre un horizon long. Celui-ci peut donc être utilisé comme une prévision fiable pour les processus stratégiques du fournisseur (Tableau 2.6).

En contre partie, le client s'expose aux risques liés à la non qualité de son fournisseur (retard, qualité produit) et à la déportation d'une partie de son stock (baisse de sa réactivité). Pour le fournisseur, il faut pouvoir assumer l'augmentation des coûts de stocks dus à l'incertitude sur la date de consommation. De plus, ce type d'accord permet au fournisseur d'augmenter considérablement ses tailles de lot de production, ce qui provoque une augmentation potentielle des coûts de non qualité (rebut) si celui-ci manque de maturité sur la maîtrise de son processus de production (Tableau 2.6).

	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Client</b>	Délais réduit d'approvisionnement Baisse niveau de stock	Diminution de la réactivité du fait de la déportation d'une partie du stock Augmentation de la vulnérabilité à la qualité du fournisseur
<b>Fournisseur</b>	Fidéliser le client Taille de lot « économique » Engagement de consommation du stock Bonne visibilité de la demande future	Augmentation des coûts de stockage Risque d'augmentation des coûts de non qualité

Tableau 2.6 : Avantages et inconvénients du protocole *engagement sur approvisionnement*

## 4 Discussion sur l'approche et cadrage de l'étude

Avant de conclure, nous avons choisi d'exposer, dans cette partie, certaines limites à l'approche que nous avons développée dans ce chapitre (§4.1). Nous ferons également un bilan récapitulatif sur les approches et méthodes identifiées pour les activités du processus de management des risques avant de situer, parmi celles-ci, lesquelles feront l'objet de notre attention dans les prochains chapitres (§4.2).

### 4.1 Précision sur la représentation de la décision

Les critères présentés dans la partie « théorie de la décision » (§2.2) constituent une base d'outils familiers pour représenter et simuler la phase de jugement dans la prise de décision. Néanmoins, les limites de leur faculté à décrire le comportement humain réel a entraîné un certain nombre d'autres développements que nous n'avons pas abordés ici mais qui constituent d'importantes sources de perspectives pour nos travaux futurs.

La logique floue appartient à cette catégorie. Très utilisée dans les problématiques d'Intelligence Artificielle, elle s'appuie sur la théorie mathématique des ensembles flous. Elle a été introduite par L. Zadeh et peut être rapidement décrite comme une extension de la théorie des ensembles classiques à des ensembles définies de manière imparfaite. Cette imperfection renvoie alors à trois notions : l'incertitude (qui dénote un doute sur la validité de la connaissance), l'imprécision (qui découle de l'impossibilité d'énoncer une connaissance précise sûre) et l'incomplétude (qui caractérise une absence totale ou partielle de la connaissance) (Zadeh, 1978; Bouchon-Meunier, 1995; Dubois and Prade, 2006).

D'autres travaux se sont penchés sur la question du multicritère dans les objectifs poursuivis par les décideurs. Pour eux, bon nombre de situations sont définies par un objectif de performance multiple. Ainsi il est rare qu'un responsable logistique ne cherche qu'à réduire les stock sans se soucier des niveaux de ruptures sur les commandes clients. Se pose alors la question de l'agrégation de ces critères, agrégation qui doit refléter les préférences du décideur entre ces derniers. Un grand nombre de méthodes d'agrégation ont été proposées. Pour plus de détails nous renvoyons vers (Figueira et al., 2005). Pour résumer, trois approches peuvent être distinguées (qualifiées d'opérationnelles par (Roy, 1996)) :

- basées sur la synthèse autour d'un seul critère (sans incomparabilité) (« Operational approach 1 »). Les méthodes associées sont issues de MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), avec des outils tels que la somme pondérée, MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique, proposé par (Bana e Costa and Chagas, 2004)), ou AHP (Analytical Hierarchy Process)... Cette notion d'attribut multiple a notamment été utilisée en management de projet et en management de la performance de manière générale (Hwang, 2004; Dweiri and Kablan, 2006; Clivillé et al., 2007; Marquès et al., 2008a; Luras et al., 2009; Marquès et al., 2011) ;
- basées sur la synthèse par classement (avec incomparabilité) (« Operational Approach 2 »). Les méthodes couramment associées sont ELECTRE (I, II, III, IV) ou PROMETHE (I and II), etc ;
- basées sur l'intégration de jugements locaux et campagnes d'essais erreurs (« trial and error iterations ») (« Operational Approach 3 »).

## 4.2 Notre approche du management des risques

Dans ce chapitre nous avons retenu un certains nombres d'approches, méthodes et outils pour aider au management des risques. Celles-ci sont reprises dans la Figure 2.15. Cette figure met également en évidence les approches et méthodes que nous avons particulièrement exploitées dans cette étude (en gris).

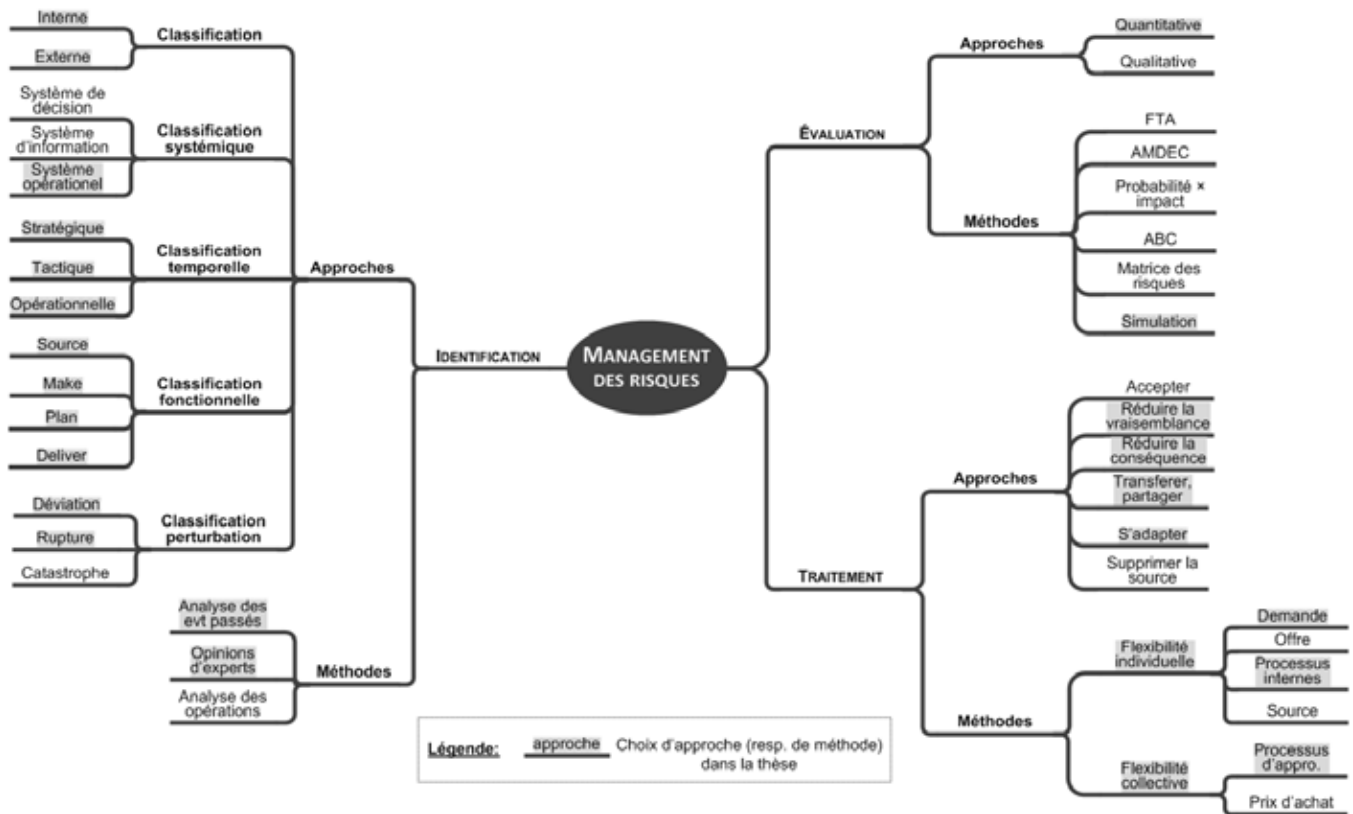


Figure 2.15 : Bilan sur les approches et méthodes identifiées pour les activités du processus de management des risques

### 4.2.1 Identification

La revue de littérature sur l'activité d'identification montre la grande richesse et diversité dans les approches et les outils à disposition. Dans ces travaux, nous allons plus particulièrement nous intéresser aux risques qui touchent aux *systèmes opérationnels* et plus précisément ceux :

- liés aux perturbations du marché (*externe*), qui peuvent affecter le comportement long et moyen terme du marché (horizon *stratégique* ou *tactique*). Nous nous focaliserons sur l'impact de changements de tendances majeurs (*déviations*, *ruptures*), mais également sur des écarts entre prévisions et comportements réels de marché (horizon *opérationnel*) ;
- liés aux perturbations du système physique des acteurs et/ou entre les acteurs (*interne*), telles que des pannes, des rebuts ou des retards (*déviations*, *ruptures* sur l'horizon *opérationnel*) en production, livraison ou approvisionnement (*source*, *make*, *deliver*). Les perturbations peuvent également provenir des processus de planification des acteurs (*plan*, sur l'horizon *stratégique*, *tactique* ou *opérationnel*).

Dans la suite, nous baserons notre approche essentiellement sur des méthodes d'identification sur opinions d'experts ou analyse des événements passés. Une meilleure formalisation d'une méthode d'identification constitue un point fort d'amélioration dans notre approche malgré le caractère particulier de chaque contexte de décision.

### 4.2.2 Evaluation

Par la suite, notre analyse du risque reposera sur une évaluation *quantitative* des impacts des risques par *simulation* de certains événements (aléas, décisions) dans des contextes déterminés. Si elle reste également quantitative, l'évaluation des vraisemblance d'aléas sera, elle, non probabiliste et nous ferons appel aux critères de Laplace, Wald, Hurwitz ou MinMax Regret pour traiter cette question.

### 4.2.3 Traitement

En terme de traitement, nous allons chercher à étudier l'impact de certains leviers de décisions liés à la *flexibilité collective* (protocoles : commande, kanban, VMI, engagement sur approvisionnement) et *individuelle* (comportements : politique de gestion de la capacité, de la taille de lot, stratégie de production, niveaux de couvertures,...). Ces analyses devront permettre de mesurer en quoi ces leviers permettent de *réduire la vraisemblance* ou la *conséquence* des risques, de s'y *adapter* ou d'en *transférer* ou d'en *partager* les responsabilités.

Dans le futur, cette étape devra être complétée en analysant différentes stratégies de mise en œuvre de ces leviers de flexibilité<sup>1</sup>. Ces travaux s'inscriront dans la continuité d'un rapport centré sur la question de la « prise de décision dans la chaîne logistique en mode incertain » (Durieux-Paris et al., 2007). Ce rapport souligne le rôle particulier de certaines stratégies qu'il convient de classer ici comme des stratégies de traitement au sein du processus de management des risques : la robustesse, la réactivité, l'agilité, l'adaptabilité, la résilience...

## 5 Conclusion

Même si certains comme B. Jarrosson (1994) dénoncent « l'espoir de mécaniser la décision », la représentation du processus de décision reste un enjeu important afin de mieux comprendre et donc de mieux aider les décideurs dans leurs activités quotidiennes. La théorie standard<sup>2</sup> s'accorde à traditionnellement représenter un déroulement linéaire du processus de décision autour de plusieurs « opérations cognitives » : l'évaluation, le jugement, l'acte. Or, B. Cadet et G. Chasseigne (2009) font remarquer que « pour des raisons extrêmement diverses, il se peut que la séquence ne débouche pas sur une action explicite et qu'elle se termine au diagnostic ou au jugement [...] ou encore que l'ordre des opérations soit modifié ». Partant de ce constat et que « l'efficacité du choix final dépend de la qualité des opérations constitutives de la séquence », ils établissent que la pertinence de la décision est facilitée par deux règles fortes<sup>3</sup> :

<sup>1</sup> Ce développement a commencé au travers d'une collaboration avec B. Vallet, en préparation de thèse au LIMOS de l'IFMA (Clermont-Ferrand) et A. Lelièvre, en préparation de thèse au LISMM de SUPMECA (Paris). Le projet a consisté à mener une étude sur certains termes couramment utilisés dans notre domaine (Marquès et al., 2009a).

<sup>2</sup> Appellation reprise de (Jarrosson, 1994) pour résumer toutes les théories succédant à la seconde guerre mondiale parmi lesquelles : théories de la décision (les critères), « garbage can model » de March,...

<sup>3</sup> Nous ne pouvons parler ici que de facilitation et non d'un lien de cause à effet obligatoire tant la pertinence de la décision du moment est à la merci d'un événement dans le futur qui viendrait bouleverser le contexte

- « chacune des opérations dépend des précédentes et induisent les suivantes », accordant ainsi beaucoup d'importance à l'ordre des opérations, sans quoi parlerions nous de « manque de rigueur », « impulsivité » ou de « précipitation »<sup>1</sup> ;
- « il devient primordial que chaque composante de la séquence ait un niveau d'efficacité suffisant de façon à ne pas invalider l'ensemble de la démarche », accordant beaucoup d'importance à la manière de conduire chacune des opérations et à la qualité de leur(s) résultat(s).

Mais quel est donc alors le rôle de cette normalisation : *Identification – Evaluation – Traitement*, nommée Management des risques, si ce n'est une règle afin d'assurer que les composantes du processus de décision se déroulent bien dans le bon ordre et chacune le « mieux » possible. Partant du principe que « la décision commence là où cesse le calcul », nous avons conclu à l'obligatoire part de risque dans toute décision relative à la gestion de la coopération dans les chaînes logistiques. Le processus de management des risques fait alors figure de démarche à suivre pour « bien » décider.

Berceau de nombreuses décisions individuelles ou collectives, la gestion de la coopération dans les chaînes logistiques n'échappe à la règle. La définition des relations a bien été établie comme une phase amont à toute phase d'exploitation de la chaîne (introduction générale). Il y a donc une césure plus ou moins grande entre le temps de la décision et le temps de son exécution, unique date à partir de laquelle les conclusions sur la « qualité » de la décision pourront être tirées.

Avec leur décision du présent, les décideurs de la chaîne logistique préparent donc un futur dont ils souhaitent tirer profit mais marqué par le manque de certitude sur sa réalisation. Ce chapitre a d'ailleurs mis en exergue bon nombre de leviers utilisables par les « managers » pour traiter le risque sous diverses formes dans leur pilotage de la chaîne (flexibilité). Alors oui, bien sûr, ils ont ce souci de « savoir pour prévoir », mais surtout d'agir face à des aléas sur le marché ou leur propre processus physique ou celui de leurs partenaires. Savoir ce que le marché, les pannes ou les ruptures seront pour mieux dimensionner ses capacités, ses approvisionnements, ses stocks ou ses distributions, bref savoir pour mieux décider. Mais au delà d'une connaissance sur les aléas, le savoir, ne passe-t-il pas également par un « savoir sur ce qu'induit la ou les décisions ? Les miennes et celles des autres ? » dans un contexte particulier (occurrences d'aléas et prises de décisions).

Selon nous cette anticipation, cette projection des conséquences d'un certain nombre de décisions dans un ou des futurs probables, est même indispensable pour notre « cerveau simulateur de scénarios ». Il va donc falloir s'attacher à « outiller » le raisonnement afin d'aider à développer et structurer la connaissance du décideur. Selon B. Jarrosson (1994), cette connaissance « est faite de jugements, [...], mais ces jugements ne se confondent pas avec les sensations. La sensation est filtrée par nos sens puis assimilée par notre entendement avant que soient produits des jugements. Ces filtres ne sont pas neutres ». Ceci lui fait donc conclure que la connaissance du monde n'est pas immédiate et qu'elle nécessite des médiateurs, « façons parmi tant d'autres de regarder le monde » : les *modèles*. A nous donc de bâtir des modèles de la chaîne logistique (chapitres 2-3) et du processus qui en définit les relations entre acteurs (chapitre 4). Ils devront permettre d'aider à utiliser un certain nombre des leviers que nous venons d'identifier.

---

<sup>1</sup> Nous avons vu dans ce chapitre que ces appellations qualifient des processus de décision dont certaines opérations ou phases étaient omises.

## RESUME

Ce chapitre a un objectif double. D'une part, il permet de présenter un état de l'art sur les notions de prise de décision, risque et management des risques pour la gestion des chaînes logistiques. D'autre part, sur la base de cet état de l'art, il nous permet de conclure sur le rôle de l'aide à la décision pour supporter la gestion de la collaboration au sein de chaînes logistiques.

La première partie est donc consacrée à l'étude du processus de prise de décision. Deux grandes familles de travaux peuvent y être distinguées : la « théorie de la décision », et la « théorie comportementale de la décision » ou « approche cognitive ». La première fait du décideur un maximisateur d'utilité et distingue deux familles de situations celles où les probabilités fréquentistes ou mathématiques (dites probabilités « objectives ») sont connues et celles où elles ne le sont pas. Dans ce cas, une première réponse a été la notion de probabilité subjective. Une seconde a été l'introduction de critères non probabilistes : (Laplace,) Hurwitz, Wald, MinMax Regret.

Deux visions peuvent être distinguées dans l'approche cognitive. Ceux qui cherchent à expliquer les biais, c'est à dire les écarts à la prévision (normative) établie par la théorie de la décision et ceux qui cherchent seulement à décrire le comportement réel sans la comparer à une quelconque prévision. L'une comme l'autre partage un rejet de la capacité de la théorie de la décision à décrire le comportement humain réel en situation de décision.

Au final, les paradoxes, liés à l'utilisation automatique de la théorie de la décision, sont incontournables. Cela doit donc nous faire repenser le rôle de l'aide à la décision. Celle-ci ne peut prétendre à fournir un unique critère mathématique (plus ou moins complexe) qui caractérise pleinement la phase de jugement du décideur. Ce jugement se base sur des connaissances limitées. L'aide à la décision ne « juge » pas mais participe à l'effort d'appropriation de la situation de décision en informant le décideur sur cette connaissance formalisable.

Cette étude de la prise de décision montre également que cette suite d'opérations mentales s'inscrit dans une situation où toute l'information ne peut être disponible au moment de décider. Cette indissociable part de risque à toute décision fait donc appel à des approches plus ou moins formalisées pour tenir compte de ce manque de connaissance. Le rôle du management des risques est donc d'apporter un cadre pour supporter ce type de décisions relatives au management de la coopération dans la chaîne logistique. Il se présente sous la forme d'un processus dont les activités principales sont l'identification, l'évaluation et le traitement.

Dans le contexte du management des chaînes logistiques, les outils ne diffèrent pas excessivement des démarches générales (avis d'expert, brainstorming, matrice des risques, simulation,...) . Ils permettent de repérer et de caractériser les risques et de les classer en différentes catégories. Dans cette étude, nous ne traiterons pas de risques liés à l'apparition de catastrophes ou d'incidents majeurs. Nous nous concentrerons sur des perturbations externes liées aux variations du marché et internes liées aux décisions des autres acteurs impliqués dans la performance de la chaîne.

L'analyse de la phase de traitement montre toute l'importance de la notion de « flexibilité » vue ici comme la « capacité à faire » d'un système. Ce système « chaîne » est par nature composé d'une succession d'acteurs. Chacun possède donc des leviers de décision propres (flexibilité individuelle) mais aussi partagés avec un certain nombre d'autres (flexibilité collective). Dans cette thèse nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux leviers de collaboration et parmi ceux-ci, deux modes de coopération particuliers : la Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA) et l'engagement d'approvisionnement. Le premier repose sur un transfert de responsabilité de la décision d'approvisionnement du client vers le fournisseur. La seconde consiste à un engagement d'approvisionnement du client sur de gros volumes afin de donner la possibilité au fournisseur à regrouper certaines fabrications (flexibilité sur les volumes).





# Chapitre 2

## La modélisation : représentation et simulation, application à la chaîne logistique

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>66</b>
<b>2</b>	<b>LA NOTION DE MODELE ET LE DOUBLE ROLE DE LA DEMARCHE DE MODELISATION .....</b>	<b>67</b>
2.1	MODELE ET MODELISATION, UN PREMIER PAS DANS LA DECISION .....	67
2.2	LE CONCEPT D'ABSTRACTION .....	70
2.3	VUE GENERALE DE NOTRE DEMARCHE DE MODELISATION.....	73
<b>3</b>	<b>LE MODELE : REPRESENTER UNE REALITE PERÇUE.....</b>	<b>75</b>
3.1	LES TECHNIQUES D'ABSTRACTION .....	75
3.2	VERS DES ELEMENTS DE DIFFERENTIATION DE MODELES REPRESENTATIFS DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE.....	76
3.3	LES MODELES REPRESENTATIFS A BASE D'AGENTS .....	81
3.3.1	<i>La notion d'agent</i> .....	81
3.3.2	<i>Les champs d'utilisation du multi-agent</i> .....	82
<b>4</b>	<b>LE MODELE : SIMULER, ANTICIPER LE COMPORTEMENT DU SYSTEME .....</b>	<b>89</b>
4.1	VERS DES ELEMENTS DE DIFFERENTIATION DE MODELES DE SIMULATION DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE.....	89
4.2	LA SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS.....	92
4.3	LES MODELES DE SIMULATION A BASE D'AGENTS.....	93
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>93</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>95</b>

# **Chapitre 2**

## **La modélisation : représentation et simulation, application à la chaîne logistique**

### **1 Introduction**

Comment aider un décideur à évaluer les conséquences possibles d'une décision ? Dans les premiers chapitres, nous nous sommes penchés sur les fondements de la notion de décision et son application au management des chaînes logistiques. Désormais, il convient de décrire la démarche qui servira de base à l'évaluation des conséquences des choix possibles et donc de support à l'aide à la décision : la représentation puis la simulation des performances d'une chaîne logistique.

Nous ne reviendrons pas sur la notion de rationalité limitée de H. Simon (1955) discutée précédemment, mais c'est un fait, l'homme n'est pas capable d'appréhender la réalité dans toute sa complexité. Surtout, nous ne faisons que la percevoir avec notre sensibilité, notre contexte, nos ambitions. Ceci faisait dire avant lui à Paul Valéry : « Nous ne raisonnons que sur des modèles »<sup>1</sup>. Face à de petites ou grandes incertitudes et des enjeux plus ou moins importants, le décideur entame toujours sa réflexion par une étape de modélisation du système associé à la décision. Plus ou moins consciente et plus ou moins formalisée, cette étape de modélisation reste indispensable et associée à un projet, un but recherché par le « modélisateur » (souvent appelé homme d'étude).

Dans le cadre de ces travaux, l'objectif est de représenter les processus de planification d'une chaîne logistique soumise à certains aléas. Le but est de pouvoir réaliser différentes expériences en faisant varier les comportements des décideurs face à ces aléas. La simulation permet une évaluation a priori des performances de la chaîne logistique, performance intimement liée aux variables de comportement donc aux choix des décideurs. Notre démarche n'est donc plus seulement prédictive mais prescriptive. Au cœur de cette démarche se trouve la notion de modèle. Il faut donc se questionner sur le rôle et les choix des outils de modélisation pour décrire le comportement d'un système de décisions comme celui du processus de pilotage des chaînes logistiques.

Dans ce chapitre nous nous attacherons à présenter notre vision d'une démarche de modélisation. L'objectif est de situer celle-ci vis à vis des travaux existants. La section 2 permettra donc d'identifier à partir de la bibliographie le double rôle d'une démarche de modélisation : représenter et simuler. Les sections 3 et 4 seront centrées sur la projection de démarches existantes pour représenter (3) puis simuler (4) une chaîne logistique. Dans chacun des cas, nous essaierons de proposer des éléments permettant de distinguer les différents modèles existant pour modéliser une chaîne logistique. Enfin, la conclusion nous servira à situer nos choix de modélisation parmi les méthodes existantes avant de les aborder en détails au chapitre suivant.

---

<sup>1</sup> Célèbre pensée de l'écrivain, poète, philosophe et épistémologue français Paul Valéry (1871-1945)

## 2 La notion de modèle et le double rôle de la démarche de modélisation

Les notions de modèle et de modélisation ont donné lieu à de très nombreux travaux. Cette partie n'a pas pour ambition de traiter avec exhaustivité de tous les apports et de toutes les discussions sur ce vaste et riche sujet. Elle a pour objectif de clarifier certains termes et définitions qui ont servi à structurer le reste de ce chapitre.

### 2.1 Modèle et modélisation, un premier pas dans la décision

J-L. Le Moigne fait figure d'incontournable lorsqu'il s'agit de traiter de l'analyse des systèmes et donc de modélisation. Dans (Le Moigne, 1987), il présente le modèle comme un instrument de production et d'exposition des connaissances. Toujours selon lui, les modèles sont « les représentations intelligibles artificielles, symboliques, des situations dans lesquelles nous intervenons » (Le Moigne, 1990). Néanmoins, au moment de conclure sur la question de « qu'est ce qu'un Modèle ? »<sup>1</sup>, force est de constater pour lui, l'impossibilité ou du moins la grande difficulté, de proposer une définition universelle de la notion de modèle. Cela n'empêchera pas certains auteurs d'en proposer dans des contextes particuliers comme par exemple, la simulation à événement discret :

*« représentation simplifiée d'un système dans le but de l'étudier »*

*(définition 3.1: Modèle - (Banks et al., 1996))*

La (définition 3.1 montre que la notion de modèle est difficilement dissociable de son utilisation : la démarche de modélisation. Cette dernière peut être décrite comme le projet pour lequel l'homme d'étude construit sa connaissance d'une réalité sur la base d'un ou de plusieurs modèles. Ces modèles peuvent être de différentes natures : mathématiques, syntaxiques, sémantiques, symboliques, verbaux,...

C. Tremblay (2003) oppose lui deux grands types de modèles : les modèles analytiques et les modèles systémiques. Ils sont présentés comme deux attitudes possibles face à une réalité à étudier. La méthode analytique, consiste à décomposer les problèmes en autant de problèmes simples à résoudre. La méthode systémique, part du principe que le tout est préférable aux parties et qu'il n'est pas possible d'extraire un ensemble de son environnement sans en modifier la nature<sup>2</sup>. Pour certains, la différenciation se fait sur le champ d'étude de chacune de ces méthodes. Le but du modèle est de rendre « intelligible » le système étudié. L'intelligibilité d'un système compliqué se fait par simplification au moyen de modèles analytiques alors que l'intelligibilité d'un système complexe s'obtient par simulation à l'aide de modèles systémiques (Le Moigne, 1990).

M. Pidd (1996) décrit les modèles comme des outils pour supporter et étendre la réflexion<sup>3</sup>. Partant de ce principe, il établit cinq règles ou « cinq principes » indissociables de la notion de modèle (P1) et de toute démarche de modélisation (P2 à P5). Nous les énumérons ci-dessous dans leur langue originale afin d'éviter toute perte de sens ou incompréhension associée à leur traduction en français :

<sup>1</sup> « Qu'est ce qu'un modèle ? » est le titre d'un article publié en 1987 dans Confrontations psychiatriques, 1987, numéro spécial consacré aux modèles, dans lequel J.L. Le Moigne dresse un état des débats et des réflexions autour de la définition du mot modèle, des problématiques et enjeux associés

<sup>2</sup> Ce courant est souvent associé à la pensée de Pascal : « toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiates et immédiates, et toutes s'entretenant par le lien insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties »

<sup>3</sup> "[...] models [...] are tools to support and extend the power of thinking".

- P1: Model simple, think complicated.
- P2: Be parsimonious, start small and add.
- P3: Divide and conquer, avoid mega-models.
- P4: Do not fall in love with data.
- P5: Model building may feel like muddling through

Le premier principe (P1) trouve écho dans bon nombre des définitions rencontrées dans la littérature. Pour beaucoup, le modèle apparaît comme une représentation simplifiée, une abstraction de la réalité (Le Moigne, 1990; Roboam, 1993; Zeigler *et al.*, 2000; Chapurlat, 2007). T. Williams (2002) va jusqu'à présenter cette obligatoire simplification comme un avantage puissant nous permettant d'accéder à des conclusions simplifiées basées sur des éléments clés du système observé et uniquement ceux-ci. Pour lui, une telle simplification n'aurait pas été possible pour l'homme d'étude qui embrasserait la réalité dans toute sa complexité. Au final, nous retrouvons l'adage suivant lequel « la carte n'est pas le territoire » (Korzybski, 1933). Ce que nous percevons de la réalité n'est qu'une carte de celle-ci. Ce n'est pas « toute » la réalité.

Néanmoins certains auteurs s'attarderont sur le fait que simplifier n'est pas réduire, présentant l'art de la modélisation comme la capacité à représenter sans mutiler (Le Moigne, 1987). La puissance de cet art de la modélisation est donc accrue par « l'habilité à abstraire les caractéristiques essentielles d'un problème, à sélectionner et modifier les hypothèses de base du système » (Banks *et al.*, 1996). Il s'agira en d'autres termes de mettre en œuvre la capacité à choisir les éléments pertinents du système réel ; pertinence qui renvoie clairement à l'adéquation à l'objectif recherché. La production d'un modèle est donc forcément liée à un objectif, à un but, le « purpose » de (Williams, 2002) ou (Banks *et al.*, 1996). Par conséquent, la démarche de modélisation peut être vue comme la production de représentations par un « modélisateur-acteur » (Le Moigne, 1987). Ce qualificatif « modélisateur-acteur », au premier abord surprenant, peut être compris comme la part de perception de la réalité et d'ancrage dans un projet particulier du modélisateur, qui, de ce fait, joue un rôle au travers de son activité de modélisation. Cette notion de pertinence, combinée à la complexité du système réel étudié, pourra conduire à une démarche prudente consistant à hiérarchiser les phénomènes réels en fonction de leur pertinence et à ne les ajouter à l'étude que les uns après les autres (P2).

Mais la modélisation doit également servir de support à la réflexion. Le modèle qui en résulte n'est donc pas seulement construit, il doit également être utilisé. Une évidence que J. Little (1970) traduira par la nécessité pour un système d'aide à la décision d'être facile à manipuler par les managers. La démarche de modélisation s'intègre donc dans une projection (une finalité) de l'homme d'étude. J-L. Le Moigne (1990) dira d'ailleurs que « modéliser, c'est à la fois identifier et formuler quelques problèmes en construisant des énoncés, et chercher à résoudre ces problèmes en raisonnant par des simulations ». Puisque intrinsèquement lié au(x) besoin(s) et aux perceptions de l'homme d'étude qui est à son origine, le modèle n'est pas unique (J-L. Le Moigne (1987) le qualifiera même d'ambiguë). Un même système pourra donc être représenté par plusieurs modèles, le choix dépendant du but recherché (P3).

Toutes ces démarches de modélisations nécessitent un ensemble de données. Dans son quatrième principe (P4), Pidd met en garde devant le danger qu'elles représentent. Elles ne sont pas gratuites, leur collection, interprétation et analyse ont un coût qui doit être pris en compte au moment de construire le modèle.

Au final, nous résumerons ces réflexions en adoptant le point de vue de J.L. Le Moigne sur le concept de modélisation :

*« élaboration et construction intentionnelle par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intention délibérée au sein du phénomène »*

*définition 3. 2: Modélisation - (Le Moigne, 1990)*

Tout d'abord cette définition permet de ne pas trancher entre les différents types de modèles. Surtout, elle permet de les considérer indifféremment dans la double fonction, le double rôle d'une démarche de modélisation. Comme l'avait également interprété C. Tremblay (2003), « le modèle a une fonction de représentation et une fonction de simulation ».

La première fonction est une fonction de description qui permet de structurer une certaine connaissance du système donc de le rendre « intelligible ». En revanche, cette connaissance ne peut être complète et il faut choisir, pour l'homme d'étude, parmi les informations, qu'il est capable de capter et de comprendre, celles qui sont pertinentes au regard des objectifs qui ont motivé sa démarche de modélisation. Ceci explique l'utilisation de l'expression « phénomène perçu » et le lien à « l'intention ». Pour C. Tremblay (2003), « dans sa fonction de représentation, le modèle ne saurait représenter toute la réalité. Il ne peut représenter qu'une partie de la réalité, celle qui est perçue comme pertinente ». Puisque « la perception est décision » (Berthoz, 2003), elle est donc toujours liée aux capacités de l'homme d'étude et à ses objectifs. J.L. Le Moigne (1977) va même un pas plus loin en disant que « Modéliser, c'est décider ».

La seconde fonction, est une fonction de simulation qui doit permettre la reproduction des comportements (seulement ceux choisis) du système afin de les comprendre et de les anticiper dans un cadre, un contexte précis, pour une question, une problématique donnée. Ceci explique l'expression « amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intention ». Pour C. Tremblay (2003), « dans sa fonction de simulation, le modèle est censé reproduire un processus, [...] elle permet la reproduction automatique des phénomènes, ou le traitement automatisé d'une grande quantité de données ».

A ce stade, il convient de nuancer ces propos car toute démarche de modélisation n'aboutit pas à de la simulation. Dans certains contextes, seule importe l'explicitation de la connaissance du système analysé. L'inscription dans un contexte est également importante au moment de choisir un langage de modélisation. Ce dernier pourra être imposé aussi bien par le type de système observé que par la personnalité, les capacités et le projet de l'homme d'étude et/ou de ses interlocuteurs. Néanmoins, dans notre étude, nous ne nous attarderons pas sur la vaste question des langages de modélisation. Dans la suite, nous nous intéresserons aux démarches de modélisation allant jusqu'à la simulation pour anticiper les comportements du système étudié. En énonçant son cinquième principe (P5), Pidd insiste bien sur le fait que la démarche de modélisation n'est pas un processus linéaire et lisse<sup>1</sup> et donc facilement reproductible à l'identique. Il n'existe donc pas une bonne manière de modéliser un système réel mais des manières possibles, chacune reflétant une abstraction particulière. Cette notion d'abstraction a d'ailleurs fait l'objet de nombreuses réflexions et investigations que nous explorons dans la partie suivante.

---

<sup>1</sup> "Modelling is not a linear or a smooth process"

## 2.2 Le concept d'abstraction

Confronté à un système complexe, l'homme d'étude, qui ne peut pas « tout » modéliser, doit mettre en œuvre certains outils ou démarches afin de sélectionner puis représenter seulement les éléments pertinents vis à vis de son dessein. Le modèle doit également être valide et contrôlable afin qu'il continue à correspondre au système réel dont il est la représentation. L'homme d'étude est donc face à une double préoccupation : d'une part réussir à réduire la taille du modèle, préoccupation illustrée par les quatre premiers principes de M. Pidd (1996), et assurer, d'autre part, la correspondance et la représentativité du modèle au système réel. C'est dans cette démarche que trouve son origine la notion d'abstraction définie par B.P. Zeigler *et al.* (2000) :

« méthode ou algorithme appliqué à un modèle pour en réduire la complexité tout en préservant sa validité dans un cadre expérimental donné »<sup>1</sup>

(définition 3.3: Abstraction -(Zeigler *et al.*, 2000))

Le cadre expérimental constitue les limites à l'intérieure desquelles la validité du modèle peut être démontrée et maintenue. Il permet également de décrire les objectifs qui ont motivé la démarche de modélisation. La notion de « modèle » de (Zeigler *et al.*, 2000) correspond alors à la fonction de représentation définie dans la partie précédente. En effet, comme l'illustre la Figure 3.1, à partir d'un système réel (« source system ») dans un contexte d'analyse donné (« experimental frame »), ils construisent un modèle de représentation (« model ») qui permet la construction d'un modèle de simulation (« simulator »). L'abstraction peut être alors associée au passage réalité/modèle de représentation.

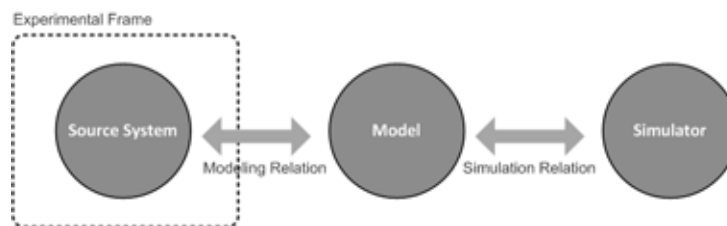


Figure 3.1 : Les entités d'une démarche de modélisation et simulation (Zeigler *et al.*, 2000)

Dans le cadre de la réduction de modèles de simulation, F. Frantz (1995) propose lui aussi une définition de la notion d'abstraction (définition 3.4). L'abstraction est alors présentée comme faisant partie intégrante d'une démarche globale illustrée par la Figure 3.2. Elle permet le passage du système réel à un modèle « conceptuel ».

« technique permettant de simplifier un modèle conceptuel tout en maintenant la validité des résultats de simulation vis à vis de la problématique à l'origine du besoin de simulation »<sup>2</sup>

(définition 3.4: Abstraction - (Frantz, 1995))

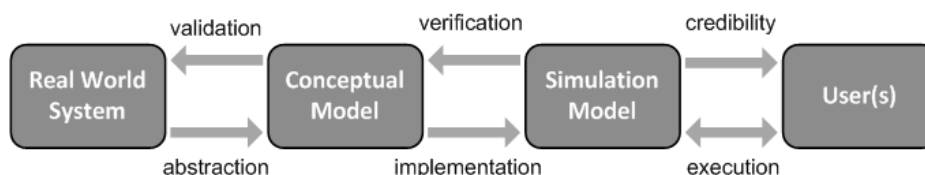


Figure 3.2 : Démarche globale de modélisation et simulation d'après (Frantz, 1995)

<sup>1</sup> «method or algorithm applied to a model to reduce its complexity while preserving its validity in a experimental frame»

<sup>2</sup> «Technique that derives simpler conceptual models while maintaining the validity of the simulation results with respect to the question being addressed by the simulation»

La différenciation entre modèle conceptuel et modèle de simulation peut être interprétée comme un rappel des deux fonctions de la modélisation : la représentation et la simulation. En revanche, l'analyse de la démarche de Frantz souligne une incohérence entre la définition proposée (définition 3.4) et le schéma au travers duquel il la représente (Figure 3.2). Dans la définition, l'abstraction fait référence à la fois à la transition du réel vers le modèle conceptuel et à la validation, alors que dans le schéma seul le lien réalité modélisation est établi. Néanmoins, cette définition place clairement le concept d'abstraction à l'interface du système réel et du système modélisé.

De nombreux auteurs ont également proposé des formalisations de cette démarche de modélisation (Shannon, 1975; Gordon, 1978; Law, 2007). La Figure 3.3 illustre la proposition de (Banks *et al.*, 1996). Si Frantz, dans la Figure 3.2, décrit les « étapes » de la démarche, Banks *et al.* s'attardent, eux, sur les activités de transition. Ils définissent les étapes d'une démarche de modélisation autour de quatre grandes phases :

- une phase d'observation du problème et d'orientation de l'analyse. Cette phase permet de définir le problème et le contexte à l'origine de l'analyse ;
- une phase de construction de modèles. Dans cette phase, même si cela n'apparaît pas formellement, deux types de modèles semblent être distingués : un modèle conceptuel résultat de l'activité de conceptualisation (« model conceptualization ») et un modèle de simulation résultat de l'activité de traduction (« translation ») du modèle conceptuel. Nous pouvons donc respectivement lier l'abstraction et l'implémentation de Frantz à la conceptualisation et la traduction de Banks *et al.* La distinction entre les notions de validation et de vérification est également établie. Comme pour Frantz, la vérification est associée à l'adéquation du modèle de simulation vis à vis du modèle conceptuel qui a permis de le définir. Ils rejoignent ainsi la définition de la vérification d'un modèle représentatif de (Zeigler *et al.*, 2000)<sup>1</sup>. Sur la question de la validation, une légère différence apparaît. Pour Frantz, comme pour Zeigler *et al.*, la validité d'un modèle traduit le degré avec lequel celui-ci réussit à bien représenter le système dont il se veut l'équivalent<sup>2</sup>. En revanche, pour Banks *et al.* la validation traduit la bonne correspondance entre le modèle de simulation et le système réel. R. Sargent (2000) propose pour cela de différencier la validité opérationnelle (entre système réel et modèle de simulation) et validité conceptuelle (entre système réel et modèle représentatif). En distinguant deux phases de validation distinctes il rejoint ainsi A. Law (2007) et R. Askin et C. Standridge (1993) (qui ne distinguent en revanche pas syntaxiquement les deux). Pour résumer, nous reprendrons les propos de V. Chapurlat (2007) pour qui la validation consiste à poser la question « construisons-nous le bon modèle ? » tandis que la vérification correspond à la question « construisons-nous correctement le modèle ? » (en terme de moyen de modélisation) ;
- une phase de mise en œuvre du modèle de simulation. Elle est équivalente à l'étape d'exécution par l'utilisateur et de l'analyse des résultats de simulation définie par Frantz. Elle permet d'explorer les choix possibles d'un décideur dans une situation particulière et de proposer des recommandations ;

<sup>1</sup> "Verification is the attempt to establish that the simulation relation holds between a simulator and a model"

<sup>2</sup> "Validity is often thought of as the degree to which a model faithfully represents its system counterpart"



- une phase d'implémentation des recommandations dont le succès dépend du degré de pertinence de l'observation, de la validité du modèle représentatif et de la qualité de l'implémentation du modèle de simulation. A. Law (2007) et F. Frantz (1995) ajoutent la nécessité de « vendre la préconisation au décideur » en introduisant la nécessaire justification de la crédibilité de celle-ci. Cette recherche de crédibilité joue un rôle majeur dans le dimensionnement de la démarche globale.

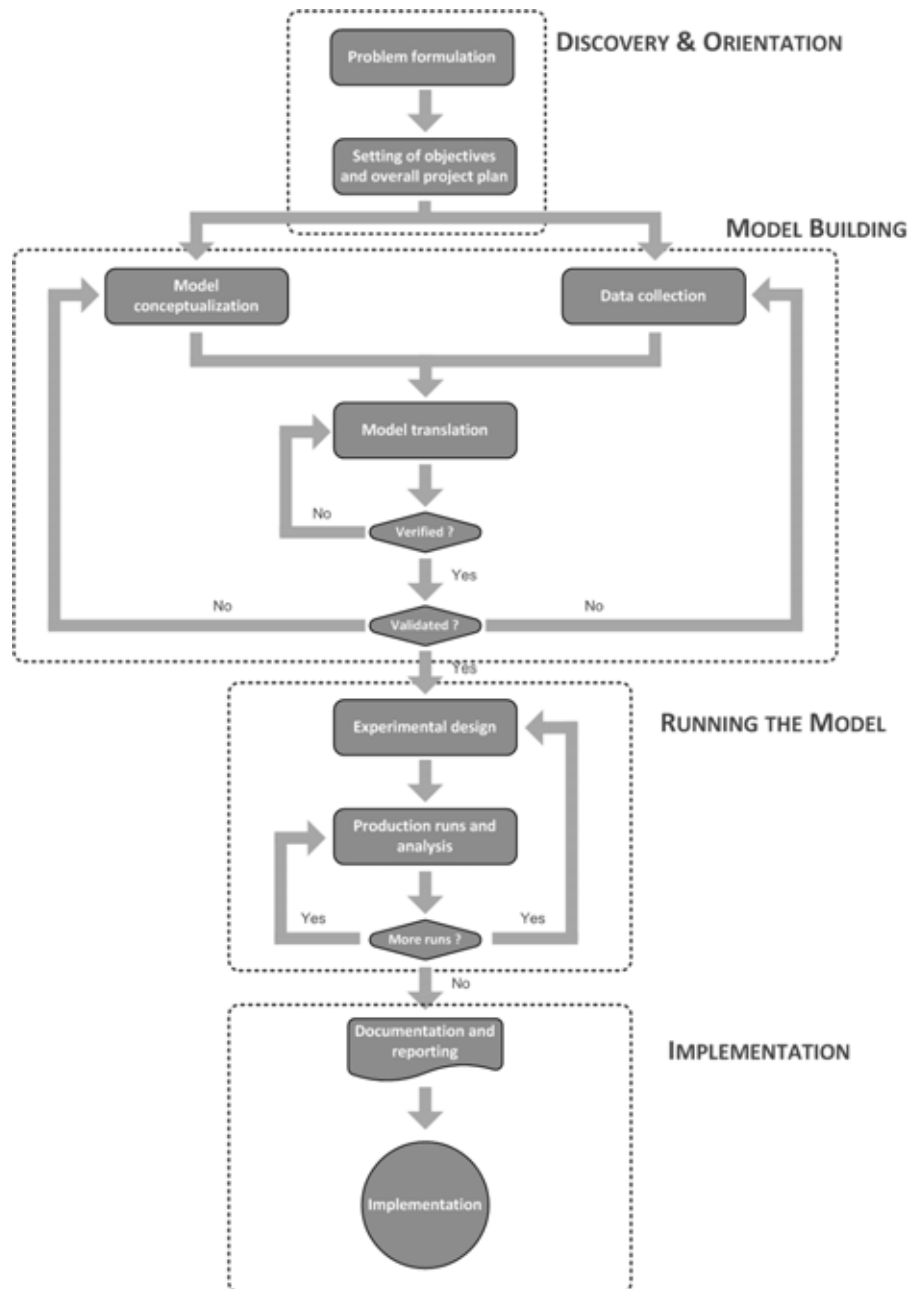
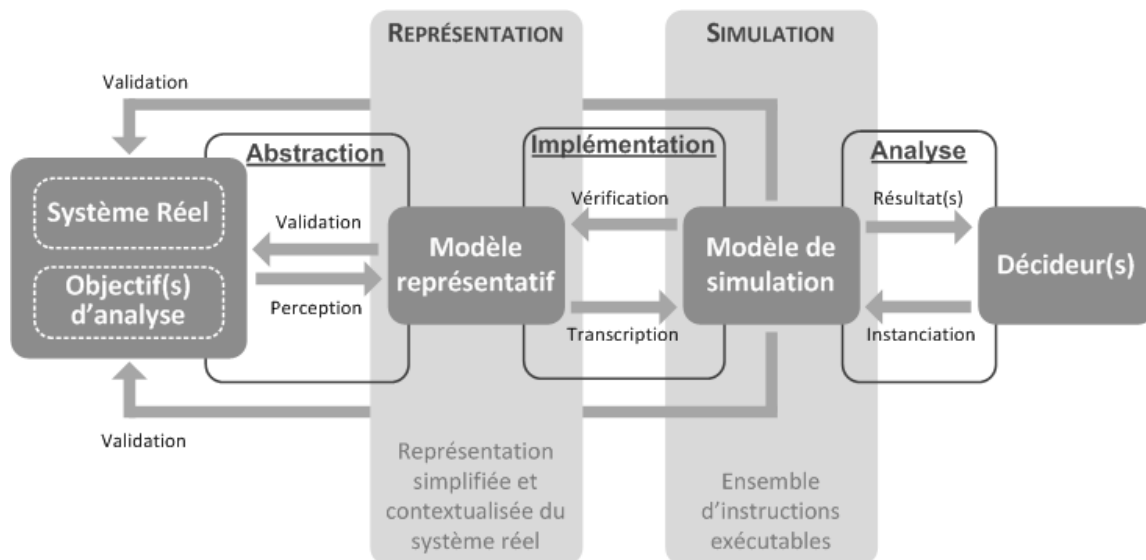


Figure 3.3: Etapes d'une étude par simulation (Banks *et al.*, 1996)

## 2.3 Vue générale de notre démarche de modélisation

Nous proposons dans la Figure 3.4 ci-dessous notre vision de la modélisation et de l'abstraction inspirée des propositions précédentes.



**Figure 3.4: notre vision de d’une démarche de simulation**

L'« abstraction » constitue l'interface entre le système réel, le ou les objectifs d'analyse qui lui sont associés et la représentation qui en est faite par l'homme d'étude. Cette représentation est simplifiée mais aussi contextualisée puisque inscrite dans un contexte particulier et fortement influencée par les dispositions et les objectifs de l'homme d'étude (propriété mise en relief au paragraphe 2.1). Le modèle représentatif est donc une représentation d'un système réel perçu. G. Klir (1991) parle de « système interprété ». Cette représentation doit être « validée ». R. Sargent (2000) donne quelques outils pouvant servir à la validation (« conceptuelle ») : vérification de propriétés mathématiques des données réelles (tests statistiques, établissement de moyennes, vérification linéarité,...), avis d'experts (« face validity »),...

Ce modèle doit être ensuite « transcrit » en un ensemble d'instructions exécutables par un outil de simulation. Cet outil de simulation est informatique dans la plupart des cas. Néanmoins, il est possible d'envisager d'autres situations telles que les jeux de simulation. Dans ce cas, les règles, les objets et les joueurs servent d'outils de simulation. Un exemple concret pourra être le célèbre jeu de la bière « instancié » dans bon nombre des établissements d'enseignement supérieur du monde entier. En contre partie de cette implémentation du modèle, il faut « vérifier » la cohérence des résultats du modèle de simulation vis à vis du modèle représentatif. R. Sargent (2000) propose quelques moyens parmi lesquels l'utilisation des ressources de débogage du langage informatique utilisé, la vérification des propriétés du générateur de nombres aléatoires ou l'utilisation de traces pour suivre pas à pas les états du système. Le passage d'un modèle représentatif à un modèle de simulation et sa vérification constituent l'« implémentation ».

Nous pouvons également ajouter une phase de validation du modèle de simulation vis à vis du système d'origine. Une validation peut-être distinguée pour chaque sous-ensemble de ce système d'origine : le système réel (par exemple sur la base d'indicateurs de performance mesurés en sortie du modèle de simulation et sur le système réel) et les objectifs d'analyse (par exemple, sur la base

d'une analyse statistique qui permet de quantifier les effets des leviers qui sont au centre des préoccupations).

Cette distinction entre le modèle représentatif, qu'il est possible d'assimiler à un modèle métier, et le modèle de simulation dans lequel ce modèle va être déployé pour pouvoir être utilisé par un ou des décideurs, peut être rapprochée dans une certaine mesure de la démarche MDA (Model Driven Architecture). Celle-ci met en avant la mise en relation entre un modèle exploitable par l'homme qui décrit une certaine connaissance métier (Platform Independent Model et Computation Independent Model) et un modèle exploitable par l'informatique qui définit les spécifications techniques du système support (Platform Description Model et Platform Specific Model) (OMG, 2003).

Le modèle ainsi construit, vérifié et validé est à la disposition de décideur qui cherche à explorer un ensemble de situations possibles. Toutes ces situations appartiennent au cadre d'analyse défini au départ. Une situation représente un jeu de données utilisé par le modèle de simulation pour pouvoir fournir un résultat. Nous parlerons ici d'une instanciation du modèle de simulation. Chaque expérience, c'est à dire chaque instance du modèle de simulation, produit un ensemble de résultats. Ces résultats doivent être « analysés » par le décideur. C'est à ce dernier de juger de l'intérêt à continuer les expériences. Le coût de cette démarche, qu'il soit financier ou temporel, constitue le principal critère de ce jugement, en plus de la nécessité de crédibilité. Cette recherche de crédibilité entraîne forcément une nouvelle forme de validation que nous intégrons dans l'étape d'analyse puisqu'elle est du ressort de l'utilisateur final (Galland, 2001). R. Sargent (2000) cite différentes méthodes courantes pour justifier cette validité « opérationnelle » : comparaison à d'autres modèles, test de dégénérescence, validation de l'occurrence d'événements réels, test de conditions extrêmes, soumission à avis d'experts, comparaison à des données historiques, répliques, étude de sensibilité,...

Nous avons ici retenu le mot décideur afin d'être cohérent avec notre démarche globale qui consiste à utiliser la simulation pour aider à la décision. Il est à noter également que rien n'oblige à ce que l'homme d'étude et le décideur soient des personnes différentes (même si leurs rôles et objectifs sont différents et associés à la phase de la démarche). De plus, dans certains cas, plusieurs décideurs différents peuvent instancier le modèle de simulation en parallèle ou de manière séquentielle.

Dans le cadre de notre étude, nous n'avons pas gardé la phase de mise en œuvre réelle de la décision préconisée au sortir de la démarche (dernière phase de la démarche de (Banks *et al.*, 1996)). Néanmoins, puisque la qualité d'une décision ne peut se juger qu'au travers des résultats réels qu'elle a impliqués, il faut bien admettre que cette étape reste, au final, la seule qui ait de l'importance<sup>1</sup>. La validation et la vérification ne constituent ainsi que des conditions nécessaires (mais non suffisantes) et nous nous attarderons donc sur les modes de construction des modèles représentatifs et de simulation.

---

<sup>1</sup> Nous faisons référence ici aux paroles de B. Jarrosson (1994) « la décision est ramenée clairement à la seule évaluation du résultat » basées notamment sur les propos de H. Simon « Une bonne décision, c'est clairement une décision qui entraîne de bons résultats, et vous ne pouvez évaluer cela que dans un contexte bien défini »

### 3 Le modèle : représenter une réalité perçue

La première étape d'une démarche de modélisation est de représenter un phénomène réel perçu. L'homme d'étude doit alors mettre en œuvre certaines techniques afin de produire cette représentation simplifiée. Cette partie présente rapidement les différentes techniques d'abstraction d'un point de vue général et théorique (3.1) puis leurs applications aux systèmes de production et à la chaîne logistique (3.2).

#### 3.1 Les techniques d'abstraction

Selon B.P. Zeigler *et al.* (2000), la démarche d'abstraction, pas assez « scientifique » aux yeux de certains n'est que trop peu reconnue<sup>1</sup>. Pourtant, avec le développement de la simulation et la complexification des contextes de son utilisation, il semble de plus en plus important de disposer de supports méthodologiques pour assurer la cohérence des niveaux d'abstractions de modèles qui se veulent de plus en plus « interopérables ».

Suivant les mêmes auteurs et en accord avec notre proposition (Figure 3.4), l'abstraction peut être vue comme une simplification valide (« a valid simplification ») d'un système réel. La simplification renvoie donc à une réduction de la complexité du système étudié. Certains auteurs ont donc proposé des typologies des différentes techniques de simplifications possibles.

Pour B.P. Zeigler *et al.* (2000), les techniques d'abstraction s'articulent autour de cinq grandes classes, non exclusives les unes par rapport aux autres<sup>2</sup> :

- *agrégation* : réunion d'un ensemble de composants du système réel en un seul composant qui représente leurs comportements combinés lorsqu'ils interagissent avec d'autres ;
- *omission* : mise à l'écart au moment de l'analyse de certaines variables du système ;
- *transformation de type stochastique* : remplacement d'une description déterministe de certaines données par une description stochastique. Ce genre d'approche est particulièrement efficace en terme de réduction de la complexité lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter un ensemble très grand de données ;
- *transformation de type déterministe* : approche inverse à la précédente où, par exemple, une distribution est remplacée par sa moyenne ;
- *transformation du formalisme* : « mapping » vers un autre formalisme. L'auteur cite l'exemple de la transformation d'un système d'équations différentielles vers un modèle à événements discrets.

F. Frantz (1995), pour sa part, propose une taxonomie des techniques d'abstraction de modèles construite autour de trois grandes familles non exclusives :

- *Abstraction des comportements internes au modèle*<sup>3</sup> : ces abstractions concernent des agrégations sur des éléments à l'intérieur des limites du modèle. Ces agrégations peuvent se faire suivant un à plusieurs critères parmi lesquels : le temps, la fonction, l'état, l'entité ;
- *Abstraction des limites du modèle*<sup>4</sup> : ces abstractions sont basées sur une réduction de l'espace des variables d'entrée. Cette réduction peut être liée soit à un choix de

<sup>1</sup> "Traditionally, it has been considered to be a black art, a craft without a scientific basis"

<sup>2</sup> Dans leur langue originale: "Aggregation", "Omission", "From stochastic to determinist transformation", "From stochastic to determinist transformation", "Formalism transformation"

<sup>3</sup> "abstraction of behavior within the model"

<sup>4</sup> "abstraction of the model boundary"

l'homme d'étude, soit faire suite à une analyse plus particulière du modèle comme une étude de sensibilité.

- *Abstraction sur la formulation du modèle*<sup>1</sup> : au travers de ce type d'abstraction l'homme d'étude cherche à simplifier la manière avec laquelle les valeurs de paramètres sont déterminées. Les moyens à disposition sont divers : tables de correspondance, fonction de probabilité, interpolation linéaire, méta-modélisation,...

Aux vues de ces deux typologies, il semble assez facile d'établir certains parallèles. Le Tableau 3.1 résume cette comparaison entre les typologies de Frantz et de Zeigler. Il est possible de considérer les agrégations et omissions de Zeigler comme, respectivement, les abstractions sur les comportements et les limites du système de Frantz. La classe relative à la reformulation du modèle de Frantz est, elle, plus détaillée dans la typologie de Zeigler, qui différencie trois types de reformulations.

Classification de (Zeigler <i>et al.</i> , 2000)	Classification de (Frantz, 1995)
Agrégation	Modification des comportements internes
Omission	Modification des limites du modèle
Transformation de type stochastique	Modification dans la formulation du modèle
Transformation de type déterministe	
Transformation du formalisme	

Tableau 3.1: Deux typologies des techniques d'abstraction

## 3.2 Vers des éléments de différenciation de modèles représentatifs de la chaîne logistique

Les processus de management des chaînes logistiques sont associés à de nombreuses décisions. Elles sont caractérisées par leur pluralité : sur le plan de l'horizon temporel associé, de l'acteur ou du groupe d'acteurs qui en est responsable, de la ou des fonctions impliquées, mais aussi du point de vue de l'ampleur des effets engendrés et de leur interactions. Par conséquent, les processus de management des chaînes logistiques et des systèmes de production entrent pleinement dans la catégorie des systèmes complexes. Cette complexité et les enjeux financiers ou stratégiques associés à ces décisions éliminent les approches par expérimentations physiques, comme les plateformes expérimentales ou les projets industriels pilotes. Elles présentent des coûts importants et certaines limites techniques qui en réduisent fortement l'utilisation.

Les modèles analytiques<sup>2</sup> sont reconnus comme bien appropriés pour modéliser individuellement certains phénomènes, mais semblent peu appropriés pour ce genre de situations. Les travaux ne manquent pas sur le sujet et sont souvent regroupés sous la notion de « mathematical models » ou « mathematical programming » (Askin and Standridge, 1993; Shapiro, 2001; Min and Zhou, 2002; Mula *et al.*, 2010). Qu'ils soient déterministes ou stochastiques, linéaires, non linéaires ou un mélange des deux ou encore à base d'heuristiques, ces approches proposent des solutions pour des problèmes précis. Parmi les problèmes classiques couramment abordés par ces modèles analytiques, nous pouvons citer : l'allocation de ressource, les tournées de livraisons, l'ordonnancement d'atelier, la localisation d'usine ou de centres de distribution, la théorie des files d'attente... Mula *et al.* (2010) ont proposé récemment une revue de littérature sur les travaux de ce type pour la planification de la production ou des transports au niveau tactique. Pour eux, les modèles analytiques permettent de traiter d'aspects quantitatifs relatifs surtout aux coûts, niveaux

<sup>1</sup> "abstraction of model formulation"

<sup>2</sup> Nous reprenons ici la classification de (Thierry *et al.*, 2008) pour qui 3 approches sont possibles pour modéliser la chaîne logistique : expériences physiques, modèles analytiques et simulation

de service et stocks en recherchant dans la plupart des cas des minimisations ou des maximisations.

Pour C. Tahon (2003), ces « modèles présentent l'avantage d'avoir un faible coût d'exploitation, mais aussi l'inconvénient de nécessiter des hypothèses très restrictives ». Au final, la dimension du modèle analytique que nécessiterait la modélisation de l'ensemble des processus de décisions liés au management d'une chaîne logistique le rendrait trop complexe pour être résolu (Thierry *et al.*, 2008). Lorsque le système analysé est caractérisé par des composants de nature et de fonctions différentes avec des interactions fortes, C. Tahon (2003) affirme que « seule l'approche dynamique de la démarche systémique » permet l'étude du dit système.

La démarche de simulation décrite en Figure 3.4 apparaît dès lors comme la solution la plus pertinente pour aider à étudier les interactions entre centres de décisions dans le contexte du management des chaînes logistiques. Elle permet au(x) décideur(s) de projeter la performance du système et de l'effet de ses (leurs) décisions dans un futur donné (l'évaluation a priori de C. Tahon (2003)). De plus, son utilisation permet l'exploration d'un grand nombre de scénarios possibles. C. Tahon (2003) parle à cet égard de campagne essai-erreur et cite A. Law (2007) pour décrire une optimisation via simulation. Une démarche consistant en la multiplication des solutions ainsi évaluées permet, après analyse, de proposer et donc de « générer » une solution (Bel, 1998).

La première étape de la démarche de simulation est la construction d'une représentation simplifiée et contextualisée du système réel (le modèle représentatif). Il existe de nombreuses façons de conduire le processus d'abstraction de tels systèmes (3.1), c'est à dire de nombreuses façons de construire le modèle représentatif. Il convient donc de s'attarder sur deux points importants :

- les techniques d'abstraction utilisées en matière de gestion management de la production et de la chaîne logistique ;
- les critères qui permettent de différencier des typologies de modèles représentatifs dans le domaine du management de la production et des chaînes logistiques.

#### Les techniques d'abstraction en management de la production et de la chaîne logistique :

Les prises de décision en matière de management de production ou de chaînes logistique donnent lieu à des préoccupations de natures, d'enjeux et d'horizons temporels différents. Cette disparité nécessite la définition de structures décisionnelles multi-niveaux (ou hiérarchiques) dont le MRPII est un parfait exemple. G. Hetreux (1996) parle de résolution séquentielle par affinement successif des décisions. Chaque décision prise au niveau  $n$  devient une contrainte pour les niveaux d'en dessous. L'exemple typique est la décision du niveau de capacité de production accordé au PIC (variable de décision agrégée sur l'usine ou des unités de fabrication), puis adapté (en terme de niveau d'agrégation) avant d'être considéré comme une contrainte au moment d'établir les plans de production (PDP, CBN) ou d'ordonnancement d'atelier (court terme). Pour G. Hetreux (1996), ce type de structures repose sur des niveaux d'abstraction différents permettant le traitement de données et l'élaboration de décision avec différents niveaux de détails, correspondant aux divers échelons organisationnels de l'entreprise. Il conclut sur trois intérêts majeurs de l'utilisation d'une approche hiérarchisée : la réduction de la complexité (limitation du nombre de variables, données et contraintes à prendre en compte à chaque niveau), la simplification et la fiabilisation des prévisions et l'élaboration de structures de décision adaptées.

La première et principale technique d'abstraction utilisée est l'agrégation des données dont J.F. Shapiro (2001) ou G. Hetreux (1996) ont explicitement décrit des exemples d'utilisations (résumés dans les Figure 3.5 et Figure 3.6). Shapiro s'intéresse aux produits finis ainsi qu'aux

fournisseurs et clients d'une entreprise. Il différencie les produits finis suivant le type de situations : la situation de distribution dans laquelle la vitesse de déplacement et le volume des produits sont des exemples de critères d'agrégation, et la situation de production dans laquelle les notions de produits intermédiaires ou de matières premières peuvent être utilisées pour agréger les données. En ce qui concerne les clients ou les fournisseurs ce sont des critères de type proximité géographique, coûts de transport ou caractéristiques (respectivement de la demande ou du fournisseur) qui seront utilisés. Hétreux entre, lui, plus dans les détails du système de production. Il différencie deux types d'agrégation : une agrégation logique qui caractérise une similarité entre les entités agrégées et une agrégation physique soulignant un lien structurel ou d'appartenance entre des entités a priori hétérogènes mais pouvant définir un tout indissociable. L'un comme l'autre précisent que ces différentes agrégations ne sont pas exclusives et que dans la réalité elles sont bien souvent combinées.

De telles structures hiérarchiques permettent également d'agréger les variables de décisions d'un même niveau décisionnel. A chacun de ces niveaux, peuvent être associés un horizon de planification et un horizon de décision, liés à la notion d'agrégation du temps (Figure 3.6). Le premier représente le nombre de périodes sur lesquelles les données doivent être prises en compte et pour lesquelles sont élaborées les décisions. Le second définit le nombre de périodes sur lequel les décisions sont effectivement mises en œuvre (Hetreux, 1996). Il peut être décomposé en plusieurs horizons de décisions suivant le degré de possibilité de remise en question de la décision : de l'horizon gelé (« frozen horizon ») où les modifications ne sont pas possibles à l'horizon libre (« liquid horizon » ou « free horizon ») où elles sont libres, en passant par un horizon intermédiaire où elles sont possibles mais sous condition (« slushy horizon »). La dynamique du système de gestion est traduite au travers de ces notions d'horizons glissants.

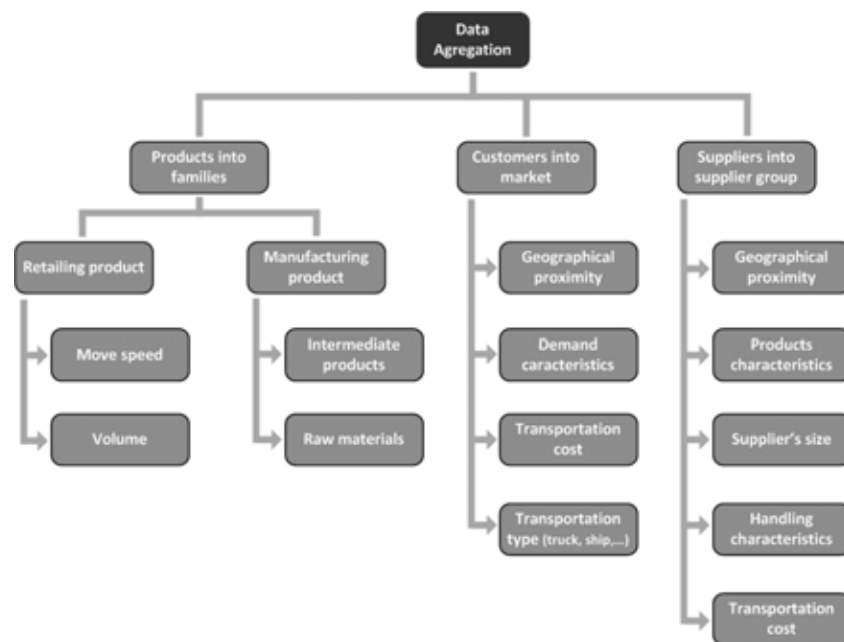
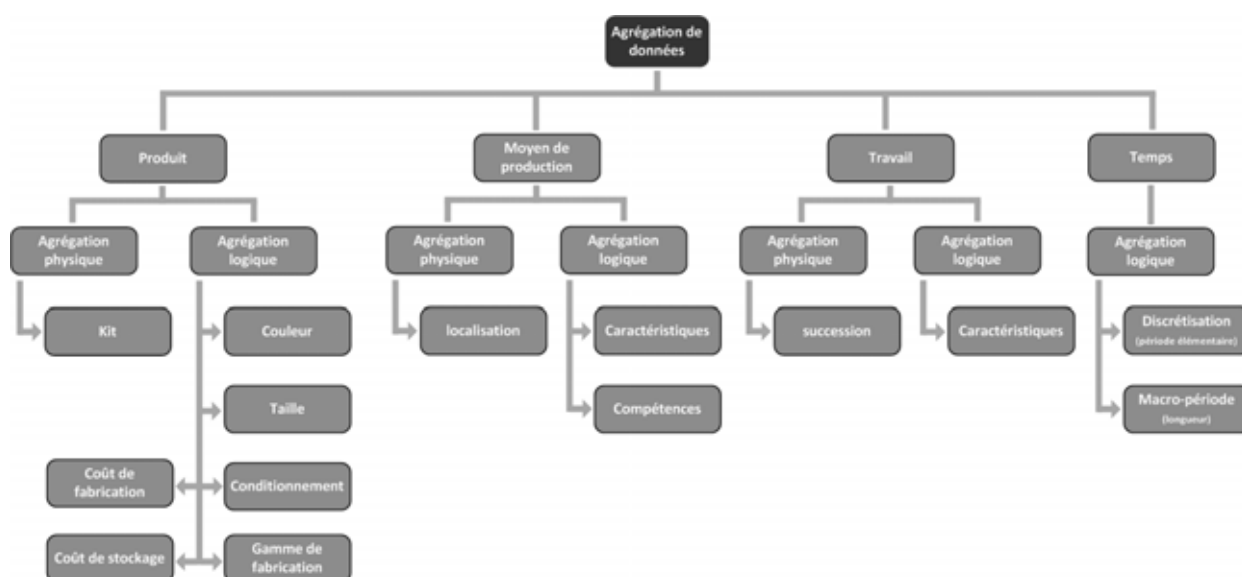


Figure 3.5: Types d'agrégation des données en gestion de production (d'après (Shapiro, 2001))



**Figure 3.6 : Types d'agrégation des données en gestion de production (d'après (Hetreux, 1996))**

L'omission est également régulièrement utilisée comme technique d'abstraction. La notion de « goulot » et par extension la méthode OPT (Optimized Production Technology) à laquelle elle a donné naissance en sont de parfaites illustrations (Thierry *et al.*, 2008). Cette technique consiste à ne considérer que les ressources qui ralentissent le flux global lorsqu'il s'agit d'étudier les capacités.

Les autres techniques d'abstraction basées sur les transformations déterministes/stochastiques sont également utilisées. A titre d'illustration, nous citerons les travaux de (Banks *et al.*, 1996) ou (Law, 2007) sur les méthodes d'analyses et de traitement des données utilisées par les modèles (« input modeling »). Le but est, par exemple, de caractériser un ensemble des données réelles déterministes par des lois de distribution (typiquement la demande du marché).

#### Des critères pour différencier les modèles représentatifs :

Trois critères majeurs ressortent de la bibliographie pour différencier différentes familles de modèles représentatifs des processus de management de la production ou des chaînes logistiques:

- la représentation du comportement du décideur en terme d'optimisation ;
- le degré de centralisation du système de pilotage ainsi modélisé ;
- la représentation du temps dans les processus de planification.

La première question est relative à la représentation du type de comportement du décideur en terme d'optimisation. L'homme d'étude peut être face à une activité d'optimisation (maximisation / minimisation) ou non, mais il doit choisir la représentation qu'il en fait. Par exemple, un décideur décrit un comportement qui n'est manifestement pas basé sur une fonction à optimiser. Pour cela, il décrit les différents paramètres et étapes de son raisonnement. Entre ce que le décideur n'exprime pas ou mal et ce que l'homme d'étude ne perçoit pas ou mal puis ne retranscrit pas ou mal, un certain nombre de biais et d'erreurs s'introduisent dans le modèle final. Dans certains contextes, le modèle ainsi obtenu ne permettra pas de reproduire assez fidèlement les solutions trouvées dans la réalité (validation). Un modèle moins fidèle en terme de détails de la démarche et cherchant plutôt à optimiser un nombre réduit d'objectifs peut s'avérer plus efficace en terme de cohérence des résultats obtenus.



Il est possible d'imaginer le cas contraire d'un système réel de planification basé sur des calculs d'optimisation compliqués nécessitant périodiquement plusieurs jours de calculs (typiquement le cas d'ERP de grosses structures qui lance leurs modules de calcul le week-end ou la nuit). La problématique à l'origine de la démarche de modélisation peut ne pas porter directement sur ces décisions mais seulement sur une partie des conséquences associées. Dans ce cas, il n'y a que peu d'intérêt à retranscrire la démarche d'optimisation dans le modèle dont les besoins en temps de calcul exploseraient. Une heuristique permettant de s'approcher des résultats réels peut suffire à certaines utilisations. La thèse d'O. Telle (2003) sur une modélisation macroscopique des processus de planification d'Airbus et de leur simulation en est un parfait exemple. Dans la suite de ce chapitre, nous verrons qu'une partie des modèles de l'outil de simulation que nous utiliserons (LogiRisk) permettent cette approche. Le chapitre 5 permettra d'en illustrer l'utilisation.

Dans un sens comme dans l'autre, charge à l'homme d'étude de caractériser la « proximité » à partir de laquelle le modèle peut être qualifié de valide.

Le second critère concerne le degré de centralisation du modèle du système pilotage. A l'image du système de pilotage réel, le modèle représentatif associé peut être centralisé ou distribué. Dans une approche de type centralisée, un seul modèle reproduit la totalité de la structure de la chaîne logistique (entités et connexions). Dans ce cas, le modèle ne représente qu'un seul système de décision pour toute la chaîne. L. Benyoucef *et al.* (2008) dressent un état de l'art sur le sujet des approches centralisées et illustre quelques applications industrielles. A l'opposée de cette approche centralisée se situe l'approche dite distribuée, que nous assimilerons dans notre étude à la modélisation à base d'agents. Dans cette approche, que nous aborderons en détails dans la section suivante, les systèmes de décisions sont distribués entre différentes entités indépendantes, les agents.

Le troisième critère de différenciation des modèles représentatifs couramment cité est la représentation du temps dans les processus de planification. Les processus de pilotage de systèmes (unité de production ou chaîne logistique) sont le berceau de décisions aux problématiques temporelles fortes. Les quantités à produire, les dates de lancement en production ou de départ de transport en sont de parfaits exemples. Dans ce contexte, deux grandes catégories de modèles sont généralement différenciés : les modèles dits « par périodes » et les modèles dits « par dates de début » (Thierry *et al.*, 2008). Le Tableau 3.2 résume les principes de chacun d'eux et leurs principaux contextes d'utilisation.

Modèle	Principe			Utile pour...
	Variables	Données	Contraintes	
par périodes	quantités produites, stockées, transportées par période	capacité de ressources, demande, prévisions, pannes... par période	Conservation des flux, nomenclatures, limite de capacité, satisfaction de la demande...	Modéliser des processus de décision longs et moyens terme (parfois court terme) responsables de la définition de quantités à produire, stocker ou transporter sur des périodes de temps fixées
par dates de début	dates de début de tâche	dates de disponibilités, d'exigibilité...	Précédence, partage de ressources, respect dates dues...	Modéliser des processus de décision responsables de la détermination de séquences d'événements datés

**Tableau 3.2 : Modèles "par périodes" et "par dates de début" (à partir de (Thierry *et al.*, 2008))**

## 3.3 Les modèles représentatifs à base d'agents

### 3.3.1 La notion d'agent

Les propositions pour définir la notion d'agent ainsi que les situations et disciplines recourant à des systèmes multi-agents (SMA) sont nombreuses (Monteiro *et al.*, 2008). Parmi celles-ci, les définitions proposées par J. Ferber (1997) puis M. Wooldridge (2002) sont régulièrement citées dans la littérature.

J. Ferber (1997) définit l'agent comme un objet particulier, entité physique ou virtuelle présentant les caractéristiques suivantes :

- (a) il est capable d'agir dans un environnement ;
- (b) il peut communiquer directement avec d'autres agents ;
- (c) il est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, ou de survie, qu'elle cherche à atteindre) ;
- (d) il possède des ressources propres ;
- (e) il est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement ;
- (f) il ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (éventuellement aucune) ;
- (g) il possède des compétences et offre des services ;
- (h) il peut éventuellement se reproduire ;
- (i) son comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

M. Wooldridge (2002), quant à lui, propose de définir le concept d'agents autour de quatre propriétés :

- l'*autonomie* : l'agent opère sans intervention directe d'un tiers (humain ou autres) et ne subit aucun contrôle sur ses actions, ni sur son état interne. Cette propriété reprend les caractéristiques a, c et d de la définition de J. Ferber (1997) ;
- la *réactivité* : l'agent perçoit son environnement et répond d'une manière opportune aux changements qui se produisent dans celui-ci. Cette propriété reprend les caractéristiques e, f et g de la définition de J. Ferber (1997) ;
- la *pro-activité* : l'agent doit être capable de montrer des comportements dirigés par des buts internes, en prenant des initiatives. Cette propriété reprend la caractéristique i de la définition de J. Ferber (1997) ;
- la *sociabilité* : les agents sont en interaction entre eux grâce à des langages de communication et des règles de sociabilité communes. Cette propriété reprend la caractéristique b de la définition de J. Ferber (1997).

Longtemps, le débat s'est éternisé sur la question de la différenciation entre agent et objet. T. Moya (2004) consacre une partie de son état de l'art à cette question et nous renvoyons vers sa thèse pour le détail de ses propos. Retenons simplement que pour certains, l'autonomie constitue le principal levier de différenciation entre objet et agent, différenciant ainsi l'objet qui répond quoi qu'il arrive au stimuli, à l'agent qui peut choisir de ne pas répondre. Pour J. Ferber (1997), l'objet est constitué de méthodes qui sont directement sollicitées par une requête et renvoie une réponse. De son côté, l'agent possède un certain nombre de services qu'ils invoquent après réception d'un message (il parle d'acte de langage) et comparaison à son objectif, avant de répondre par un autre message.

Néanmoins, cette distinction reste délicate et nous nous contenterons ici de différencier les agents réactifs des agents cognitifs. Ces deux conceptions ont donné lieu à deux écoles de pensée (Ferber, 1997). Pour les uns, un système multi-agent est composé d'un certain nombre d'agents « intelligents ». La notion d'intelligence renvoie alors à la capacité de chaque agent à poursuivre un but et à négocier de manière « intentionnelle », le cas échéant, avec d'autres agents afin de l'atteindre. Il sait raisonner pour choisir ses actions. On parle alors d'agent cognitif, défini par N. Jennings et M. Wooldridge (1995) :

*« agent capable d'autonomie et de flexibilité dans le choix de ses actions pour atteindre un objectif. Cette capacité inclue (...), la pro-activité (...), et la sociabilité »*

*(définition 3.5: Agent cognitif - (Jennings and Wooldridge, 1995))*

Pour d'autres, s'appuyant sur l'exemple de la fourmilière, il n'est pas nécessaire que les agents soient individuellement intelligents pour que le système ait un comportement global intelligent<sup>1</sup>. On parle alors d'agent réactif seulement capable de réaction(s) mécanique(s) à certains événements :

*« basent leurs décisions entièrement sur le moment présent, sans aucune référence à des actions ou des événements passés. Ils répondent simplement à des stimuli provenant de l'environnement »*

*(définition 3.6 : Agent réactif - (Weiss, 2000))*

P. Forget *et al.* (2008) propose une illustration de la différence entre agents cognitifs et réactifs (Figure 3.7). Pour eux, la différence est à situer sur le plan des capacités de l'agent et des objectifs qui le conduisent.



Figure 3.7: Des agents aux capacités et aux objectifs différents (adapté de (Forget *et al.*, 2008))

### 3.3.2 Les champs d'utilisation du multi-agent

Les travaux de recherche ne manquent pas pour décrire les champs d'utilisation des systèmes multi-agents et nous renvoyons vers (Jennings and Wooldridge, 1995; Ferber, 1997; Jennings *et al.*, 1998; Weiss, 2000) pour des approches générales des SMA. Parmi tous ces apports, beaucoup s'attachent à la problématique du management des systèmes industriels. (Monostori *et al.*, 2006; Shen *et al.*, 2006; Monteiro *et al.*, 2008; Lee and Kim, 2008; Frayret *et al.*, 2008) en proposent des revues de littérature. Pour tous ces auteurs, les propriétés qui caractérisent les SMA sont particulièrement adaptées pour la représentation et la simulation de systèmes industriels dynamiques physiquement et fonctionnellement distribués. Certains dressent des typologies de cas d'application des SMA.

Pour J. Lee et C. Kim (2008) les modélisations à base d'agents permettent de modéliser des entités aux comportements et aux interactions complexes. L. Monostori *et al.* (2006) ajoutent qu'ils sont capables de représenter des comportements de décision faisant face à des informations

<sup>1</sup> Nous renvoyons vers J. Ferber (1997) pour une discussion plus complète sur le sujet

et un niveau de connaissance incertain ou imparfait. W. Shen *et al.* (2006) précisent que les modèles à base d'agents constituent même la prochaine génération des systèmes de gestion. Au final, chacun définit les champs d'application des SMA autour de grandes catégories : trois pour (Lee and Kim, 2008) (numérotées de 1 à 3 dans la Figure 3.8), cinq pour (Shen *et al.*, 2006) (nommées de A à E dans la Figure 3.9) et huit pour (Monostori *et al.*, 2006) (nommés de i à viii dans la Figure 3.10). Néanmoins, il semble s'établir certains rapprochements entre ses trois classifications.

Les catégories 1 et i sont relatives à la proposition d'une aide à la définition des processus de design et développement qui mettent en œuvre des réseaux ou des collaborations entre des entités ou des fonctions différentes (d'une même entreprise ou non) (famille 1). La question de l'intégration des systèmes d'information et donc des fonctions qu'ils supportent sont également identifiées comme des champs d'applications potentiels rapprochant ainsi les familles A et vi.

La catégorie 2 s'intéresse au pilotage des unités de fabrication au sein d'une entreprise. Il s'agit de planifier, dans certains cas, en temps réel, les activités de production de manière à prendre en compte dynamiquement les aléas qui surviennent ainsi que les caractéristiques des ressources de fabrication (gestion des parallélisations sur des ressources de même compétences mais aux contraintes différentes). Cette catégorie peut être détaillée par les familles C, ii et iii pour la sous-catégorie 2.1 et D, iv et v pour la sous-catégorie 2.2.

La catégorie 3 s'intéresse aux relations à l'intérieur de la chaîne. (Lee and Kim, 2008) y distinguent deux familles de travaux : ceux qui se focalisent sur les échanges d'informations entre les acteurs en mettant en avant le rôle d'agents médiateurs (qui jouent le rôle de protocole) (3.1) et ceux qui travaillent plutôt sur les comportements de décisions internes à chaque acteur et l'intégration de ceux-ci dans une chaîne logistique soumise à des aléas (3.2). (Shen *et al.*, 2006) et (Monostori *et al.*, 2006) ne font pas cette distinction et parlent de collaboration au sens large, d'où le rapprochement entre les familles 3, B et vii.

Enfin, (Shen *et al.*, 2006) et (Monostori *et al.*, 2006) propose un champ d'application dédié aux applications de la modélisation holonique dans les familles E et viii.

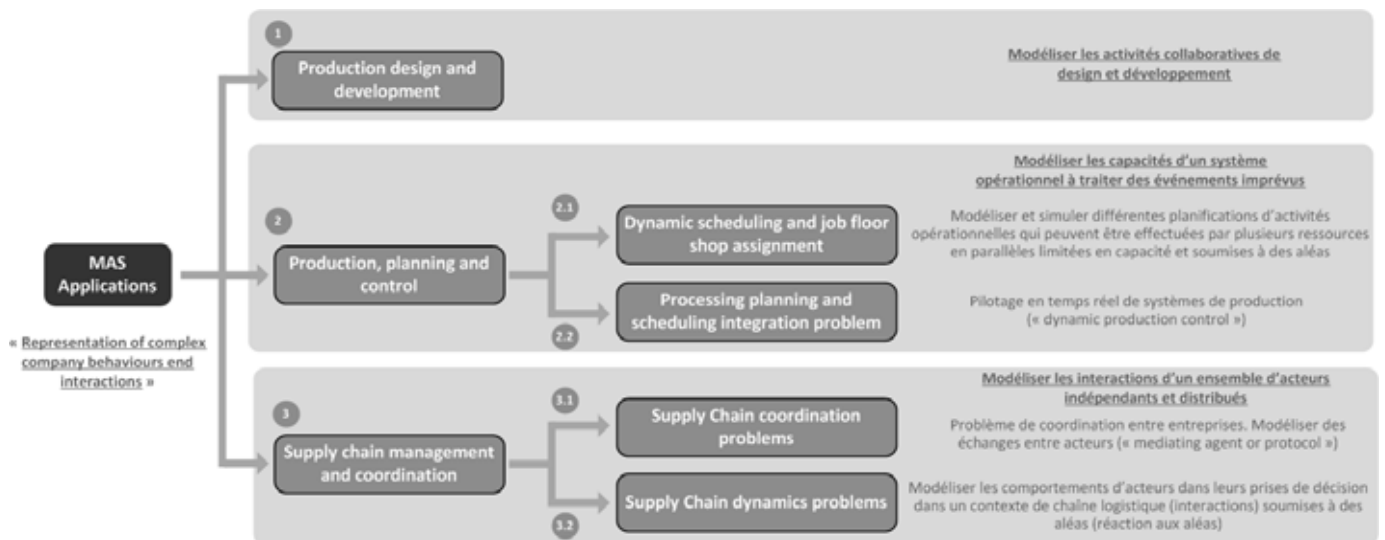


Figure 3.8: champs d'application des SMA selon (Lee and Kim, 2008)

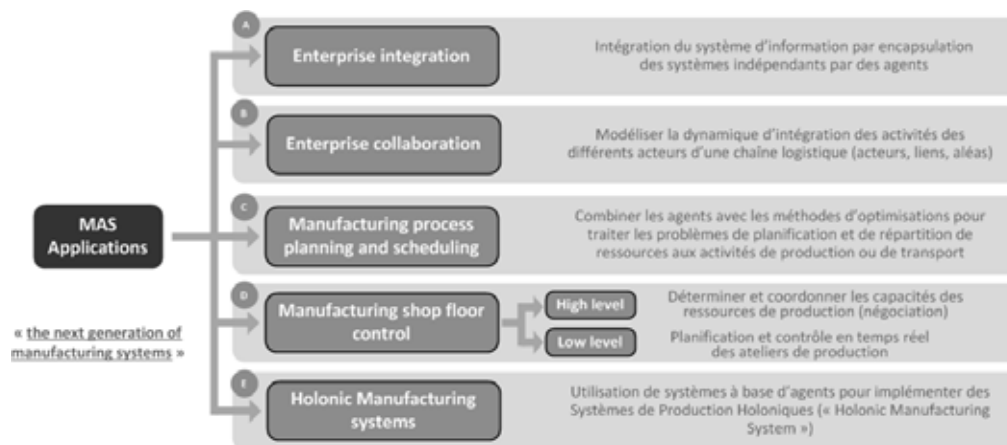


Figure 3.9: champs d'application des SMA selon (Shen *et al.*, 2006)

Dans la suite de cet état de l'art nous allons plus particulièrement nous intéresser aux travaux centrés sur la problématique de la coordination des entreprises au sein d'une chaîne logistique (familles 3, B et vii). Depuis le milieu des années 90 jusqu'à nos jours, les projets de recherches sur cette application particulière des SMA font régulièrement l'objet de revues (Moyaux, 2004; Moyaux *et al.*, 2006; Shen *et al.*, 2006; Labarthe *et al.*, 2007; Monteiro *et al.*, 2008).

De tels projets sont légion et il faudrait consacrer tout un chapitre pour vraiment balayer en détails tous les projets de SMA appliqués aux chaînes logistiques. Cette partie ne revendique donc pas une exhaustivité des travaux sur le sujet. Elle permet néanmoins de résumer les principaux modèles représentatifs utilisés dans la littérature pour décrire certains comportements de la chaîne. L'identification de ces « principaux » travaux s'est appuyée sur les revues proposées par (Moyaux, 2004; Moyaux *et al.*, 2006; Shen *et al.*, 2006; Labarthe *et al.*, 2007; Monteiro *et al.*, 2008).



Figure 3.10: champs d'application des SMA selon (Monostori *et al.*, 2006)

Ce type de « reviews » ou « surveys » présentent le grand intérêt de proposer sur un même plan une liste de projets et travaux de recherche représentatifs de la problématique de la coordination dans la chaîne logistique. Néanmoins, après analyse, il convient de différencier deux grands types d'objectifs :

- ceux qui cherchent à proposer une méthodologie générique de modélisation agent de la chaîne logistique et de ses problématiques (ou du moins un cadre de modélisation). nous illustrerons ce courant par les démarches proposées par (Swaminathan *et al.*, 1998), (Labarthe *et al.*, 2007) et (Galland, 2001) ;
- ceux qui proposent un modèle représentatif de la chaîne pour répondre à une problématique donnée. Nous illustrerons ce courant au travers de 12 projets ou travaux particuliers.

### 3.3.2.1 Propositions de cadres méthodologiques<sup>1</sup>

Le projet Supply Chain Modeling and Analysis (SCMA) est associé aux travaux de J. Swaminathan *et al.* (1998). Ils partent du constat que les outils de modélisation et de simulation semblent les plus appropriés pour aider à explorer un grand nombre d'alternatives mais souffrent de problèmes majeurs : leur développement peut nécessiter beaucoup de temps et ils sont souvent assez spécifiques, ce qui en limite la réutilisation. Leur objectif était donc de développer un cadre de modélisation de chaînes logistiques réutilisable et rapide à mettre en œuvre. Ce cadre repose sur une bibliothèque d'éléments génériques.

Le projet M<sub>A</sub>MA-S (Multi-agent methodological approach for the simulation of industrial systems) a été porté par les travaux de S. Galland (2001) et S. Galland *et al.* (2003, 2005). Ils proposent une méthodologie permettant la définition, la réalisation puis l'expérimentation d'un modèle de simulation de système distribués. L'originalité se situe dans l'utilisation d'outils de modélisation d'entreprise pour construire le modèle conceptuel (ou représentatif pour nous).

Sur la base des travaux de A. Drogoul *et al.* (2003), (Labarthe *et al.*, 2005) puis (Labarthe *et al.*, 2007) ont proposé un « cadre méthodologique agent pour la modélisation et la simulation des chaînes logistiques ». Cette méthodologie met en valeur le fait que l'homme d'étude peut avoir recourt à un ou des modèles intermédiaires pour construire le modèle représentatif. Ici, il peut s'agir de tout modèle (« modèle de domaine ») qui ne respecte pas, à ce stade, le formalisme ni les hypothèses d'une modélisation à base d'agents mais qui permette de décrire les composants de la chaîne et la nature de leurs interactions.

Les cadres méthodologiques relatifs aux travaux de S. Galland ou O. Labarthe peuvent être décrits dans la méthodologie que nous proposons (démarche de modélisation : système réel – modèle représentatif – modèle de simulation – décideur). Cette comparaison a été réalisée dans l'Annexe 2.

### 3.3.2.2 Modèles pour des problématiques données<sup>2</sup>

Le Tableau 3.3 résume l'ensemble des projets et travaux proposant des modèles représentatifs de la chaîne logistique pour des problématiques données. Chacun y est décrit suivant plusieurs critères : la *finalité*, c'est à dire la motivation générale de la démarche de modélisation, la *problématique*, qui précise certains éléments du contexte ou de la question posée, l'*approche*, c'est à dire quelques éléments sur la particularité du point de vue adopté, la *modélisation*, qui explique brièvement l'utilisation des agents pour représenter les entités du système et les *références associées* ainsi qu'un *numéro*.

<sup>1</sup> Nous renvoyons à l'Annexe 2 pour une description plus détaillée des projets retenus

<sup>2</sup> Nous renvoyons à l'Annexe 3 pour une description plus détaillée des projets retenus

### **3.3.2.3 Conclusion**

En résumé, nous pouvons dire que les travaux relatifs aux SMA sont nombreux et s'attachent chacun à une problématique précise. L'ensemble de ces travaux s'intéressent globalement aux questions de planification et de coordination globale de réseaux soumis à un certain nombre d'aléas. Cette question est essentiellement déclinée sur les horizons tactiques et opérationnels. Si nous ne pouvons être tout à fait catégoriques sur l'absence de travaux au niveau de l'horizon long terme et notamment tout ce qui touche aux décisions d'augmentation ou de diminution de capacité (niveau PIC) et certains choix de protocoles (VMI), il semble qu'il y ait certains enjeux à étendre cette approche à ces questions stratégiques<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ces propos doivent bien sur être doublement nuancés. D'une part, nous l'avons dit plus haut, cette liste de projets n'est pas exhaustive. D'autre part, certains projets comme Netman ou For@c semblent avoir des perspectives qui vont dans ce sens.

N°	Projet	Finalité	Problème étudié	Approche	Modélisation	Références associées
1	ISCM	Définir la coordination entre les acteurs d'une chaîne en terme d'informations échangées et de négociation	Mise à l'épreuve des mécanismes de coordination lors de la survenue d'aléas (ex. : pannes)	Définition et utilisation d'un langage pour décrire des négociations complexes	1 agent / entreprise décomposé en plusieurs (production, stock, achat, vente,...)	(Barbuceanu and Fox, 1995; Barbuceanu <i>et al.</i> , 1997; Teigen, 1997; Fox <i>et al.</i> , 2000)
2	MASCOT	Planification et ordonnancement par coordination	Impact des politiques de gestion sur les acteurs de la chaîne	Séparation des décisions de planification et d'ordonnancement sur deux niveaux hiérarchiques et coordination verticale entre ces niveaux et horizontale entre les entreprises pour résoudre les conflits	3 niveaux d'agents / entreprise (lower/higher agents) 1 blackboard	(Sadeh <i>et al.</i> , 1998, 1999, 2001, 2003)
3		Partage de l'information	Evaluer les performances cumulées de différentes stratégies de partage de l'information et différentes stratégies de production	Chaîne divergente, multiples clients	1 agent / entreprise décomposé en 8 sous-agents	(Strader <i>et al.</i> , 1998)
4	DASch	Analyse du comportement dynamique de la chaîne en terme de pouvoir des stratégies de prévision	Evaluer les stratégies de prévisions en fonction de plusieurs types de demande	Analyse des stratégies de calculs des prévisions et leur diffusion dans la chaîne logistique	2 agents / entreprise (production + planification) 2 agents de transmission (info + matière)	(Parunak and Vanderbok, 1998; Parunak <i>et al.</i> , 1999; Weiss, 2000)
5	ANTS	Ordonnancement d'activités de production	Retarder au plus tard les décisions d'ordonnancement pour permettre des variations de demandes (meilleure flexibilité)	Instauration d'engagement sur la capacité avec fenêtre de temps pour produire	n agents / entreprise 1 agent planification n agents ressource n agents flux (matières)	(Sauter <i>et al.</i> , 1999)
6	NETMAN	Gestion des coordinations au sein d'un réseau	Analyse de modes de coordination distribués dans un contexte dynamique	Définition d'un cadre de coordination CAT (Convention Agreement Transaction) pour représenter des modes de coordinations élaborés	1 agent (centre NetMan) par entité (liens de parenté possibles)	(Montreuil <i>et al.</i> , 2000; Cloutier <i>et al.</i> , 2001)
7		Coordination face à l'effet coup de fouet	Evaluer différentes stratégies de passage de commandes	Définition de deux principes pour assurer une bonne coordination et donc contrecarrer l'effet coup de fouet	1 agent / entreprise	(Moyaux, 2004)
8		Aider à assurer la cohérence des politiques de gestions individuelles dans une relation donneur d'ordre / fournisseur	Evaluer différentes stratégies de gestion de la production et de stock face à des demandes aux prévisions incertaines	Mise en avant de l'influence de certains comportements dans le contexte dynamique d'une relation donneur d'ordre / fournisseur	1 agent / entreprise décomposé en 4 sous-agents (appro, prod, planif, distrib)	(Telle, 2003)



N°	Projet	Finalité	Problème étudié	Approche	Modélisation	Références associées
9	Opt/MAS	Optimisation de l'approvisionnement dans un contexte de réseau multi-sites	Etude de l'influence de différentes politique de réapprovisionnement	Couplage optimisation / multi-agent	1 agent / site du réseau 1 agent marché 1 agent transporteur	(Gjerdrum <i>et al.</i> , 2001)
10	For@c	Management de la chaîne logistique	Etude des effets de différentes stratégies de planification et d'ordonnancement et de différents modes de relations	Couplage optimisation / multi-agent Décomposition SCOR	1 agent / entreprise décomposé en 1 agent source, 1 agent deliver, et n agents make	(Frayret <i>et al.</i> , 2008; Forget <i>et al.</i> , 2008)
11	SPEE	Management de la chaîne logistique	Etude des comportements d'achats des acteurs d'une chaîne soumise à de fortes incertitudes sur le marché	Modélisation très détaillée du marché et du réseau de vente	1 agent / client 4 agents pour l'assembleur 2 agents pour le prestataire logistique 1 agent / fournisseur 3 à n agents pour le réseau de vente	(Montreuil, 2005; Montreuil <i>et al.</i> , 2006b, 2006a, 2006)
12	VNE	Coordination multi-site	Planification distribuée	Création et utilisation au besoin d'agent de deux niveaux d'agents de négociation pur faire converger les négociations	1 agent planning / entreprise 1 agent négociation / entreprise 1 agent médiateur de la chaîne	(Roy <i>et al.</i> , 2004; Monteiro <i>et al.</i> , 2007)

**Tableau 3.3: Projets de modélisation à base d'agents**

## 4 Le modèle : simuler, anticiper le comportement du système

Le terme simulation appartient à la famille des expressions courantes dont il convient de préciser le sens et ses nuances à chaque utilisation tant chacun s'en est approprié la signification. Du latin *simulatio* « faux-sembant, feinte », le terme simulation renvoie d'abord dans la langue française à « l'action de feindre, de faire paraître réelle une chose qui ne l'est pas »<sup>1</sup> avant d'être défini de manière plus générale comme « la reproduction artificielle des conditions réelles d'un milieu, d'un phénomène »<sup>2</sup>. Dans notre domaine, R. Shannon (1975) s'inscrit pleinement dans cette vision en définissant la simulation comme « la construction d'un modèle d'un système réel et la conduite d'expériences sur ce modèle afin de comprendre le comportement du système et d'en évaluer les différentes stratégies [...] possibles d'actions »<sup>3</sup>.

En terme de simulation des chaînes logistiques, à cette vision générale, R.. Askin et C. Standridge (1993) ajoutent le rapport au temps comme indissociable de la notion de simulation. Pour eux, si la simulation est bien une imitation d'un système réel, celle-ci implique la reproduction du comportement du système dans le temps (« over time », (Banks *et al.*, 1996)) afin d'en traduire la dynamique (« temporal dynamics of manufacturing systems », (Askin and Standridge, 1993)).

### 4.1 Vers des éléments de différenciation de modèles de simulation de la chaîne logistique

La simulation peut-être utilisée dans plusieurs situations<sup>4</sup>. En terme de conception ou re-conception d'une chaîne logistique, elle peut aider à la *localisation* (localisation d'usines, configuration de réseaux de distribution, localisation des stocks,...), à la *sélection* (de fournisseurs, de partenaires,...) ou encore au *dimensionnement* (capacité, stocks,...). Mais elle peut également servir comme support au pilotage de la chaîne en anticipant les retombées de certaines décisions comme les niveaux de couvertures, les choix en terme de planification, de partage d'information ou de type de protocoles à mettre en place,... En fait, il s'agit, dans ce cas, de tous les leviers de décisions identifiés précédemment au chapitre 1, qui permettent de faire évoluer la chaîne dans son contexte.

Du point de vue de la modélisation, le modèle de simulation peut être vu comme une composition d'entités (objets, agents,...) et de relations entre celles-ci. Une entité peut être caractérisée de manière informelle par un comportement propre (des fonctions spécifiques) dépendant de son état interne et une capacité à interagir avec son environnement (échange de messages). Chacune de ces entités est donc caractérisée par :

- des *attributs*, qui prennent une ou des valeurs au cours du temps. Un attribut peut être statique ou variable suivant qu'il évolue ou pas au cours du temps. L'état de l'entité à un instant donné peut être défini comme l'ensemble des valeurs de ses attributs ;

<sup>1</sup> Thomas de Kent, Le roman de toute chevalerie XII<sup>ème</sup> siècle

<sup>2</sup> Il est à noter que cette utilisation ne diffère pas du sens anglophone où la simulation est l'imitation du fonctionnement d'un système au moyen d'un autre (Merriam-Webster dictionary) : "the imitative representation of the functioning of one system or process by means of the functioning of another"

<sup>3</sup> "Simulation is the process of designing a model of a real system and conducting experiments with this model for the purpose either of understanding the behavior of the system or of evaluating various strategies (within the limits imposed by a criterion or set of criteria) for the operation of the system"

<sup>4</sup> Nous renvoyons vers (Thierry *et al.*, 2008) pour une approche complète de la question de la simulation pour le management des chaînes logistiques

- des *méthodes*, qui définissent les aptitudes de l'entité à pouvoir traiter des données, des messages et à fournir un résultat ou à répondre à une sollicitation, donc à interagir. Ce ou ces comportements pourront être déclenchés de manière interne ou externe.

La nature des entités ainsi que des attributs et des méthodes associés est très variable et dépend notamment du niveau de granularité et des choix réalisés au niveau du modèle représentatif. A ce stade, nous ne pouvons que citer quelques exemples regroupés dans le Tableau 3.4. L'entité peut correspondre à une entité physique tel qu'un produit ou une machine voir même un groupe de produits ou de machines, mais elle peut représenter également une usine entière ou un processus de pilotage particulier.

Entité	Exemple(s) d'attribut	Exemple(s) de méthodes
Produit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nom du produit</li> <li>- Position du produit dans l'usine</li> <li>- Liste de client</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retourner la liste des commandes associées à un client</li> <li>- Retourner sa position</li> </ul>
Ressource de conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité de production</li> <li>- Taux de pannes</li> <li>- Heures d'ouverture</li> <li>- Taille de lot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser l'ordre de fabrication</li> </ul>
Usine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité de production globale</li> <li>- Localisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre à jour la capacité (augmenter/baisser)</li> <li>- Changer la localisation</li> </ul>
Processus de calcul des besoins nets	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taille de lot de production</li> <li>- Délai de production</li> <li>- Plan des besoins bruts</li> <li>- Plan des besoins nets</li> <li>- Niveau de stock de sécurité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire le calcul des besoins nets</li> <li>- Calculer le niveau de couverture</li> <li>- Retourner le plan prévisionnel de stockage</li> </ul>

**Tableau 3.4: Exemple d'entités modélisables dans une chaîne logistique et attributs et méthodes associés**

La manière dont sont considérés les états des entités dans le temps permet de différencier deux grandes familles de modèles de simulation :

- les modèles continus, où les états varient de manière continue dans le temps ;
- les modèles à événements discrets où les états varient à des dates données (événements).

Ces deux familles de modèles caractérisent deux approches différentes, deux points de vue différents portés sur la chaîne. Pour la première, l'approche continue, l'idée est d'être capable d'analyser les performances de la chaîne tout au long du temps. Cette approche est particulièrement efficace lorsqu'il s'agit d'étudier la dynamique de la chaîne, « dynamique industrielle » qui fut mis en lumière par Forrester. En dynamique des systèmes, les flux sont continus et leurs comportements sont représentés par des équations différentielles. Le pilotage de ces flux est vu comme un modulateur, un régulateur du débit. C. Thierry *et al.* (2008) précisent que ce principe peut être vu comme une abstraction des systèmes de pilotage réels.

La seconde approche repose sur une discrétisation du temps et la notion d'événement. Dans les modèles à événements discrets, un événement caractérise le début d'une activité à un instant donné dans le temps. Deux méthodes de gestion de l'avance du temps sont alors possibles (Figure 3.11) :

- une avance du temps « orientée événements » : le pas de discrétisation est non fixe et évolue au gré de l'occurrence d'événements. Cela suppose que les changements d'état du système sont générés par un événement de manière instantanée et n'évolue

donc pas jusqu'au prochain. Par principe cette approche suppose donc que tous les événements qui génèrent un changement d'état sont modélisés. Cela peut engendrer des modèles « lourds » et donc en limiter l'utilisation. A titre d'illustration, il faut savoir que les logiciels commerciaux reconnus Witness et Arena sont basés sur ce type de modèle. L'implémentation d'un modèle représentatif de type « dates de début » dans un modèle de simulation orienté « événements » est directe, de part notamment l'hypothèse sur les changements d'états associés aux événements. En revanche, l'implémentation d'un modèle représentatif de type « par périodes » nécessite quelques adaptations (rôle de l'étape d'implémentation Figure 3.4).

- une avance du temps « orientée *périodes* » : dans ce cas, le temps est divisé en périodes de taille donnée (« time bucket ») et est incrémenté pas à pas. A la fin de chaque période, un nouvel état est calculé. Seuls les événements se déroulant en début de période sont simulés. en revanche, l'état des objets et donc du système peut évoluer durant la période au travers de fonction permettant d'effectuer des « bilans sur la période ». Ce type de modèle est donc particulièrement pertinent vis à vis de processus périodiques même complexes avec des périodes élémentaires assez longues (jour, semaine, mois). En revanche, les processus court terme, rarement périodiques doivent donc être traités au travers des « bilans fin de période ».

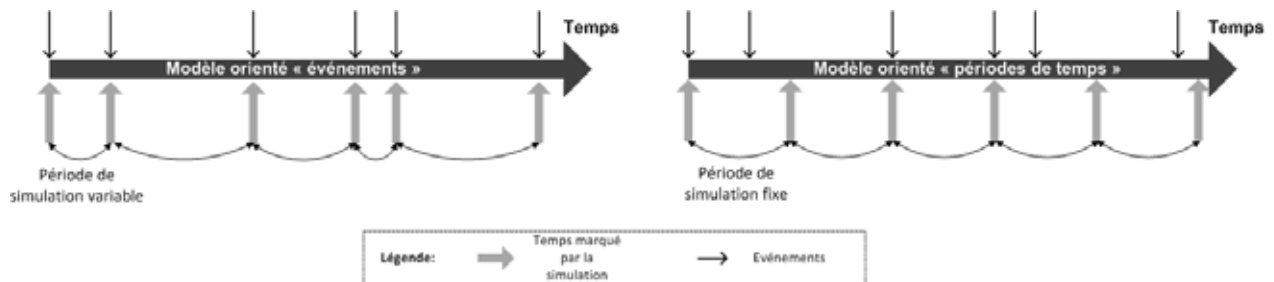


Figure 3.11: Comparaison modèles orientés "événements" et "périodes de temps"

La répartition des calculs est également citée comme un critère de différenciation des modèles de simulation. L'exécution de la simulation peut s'effectuer soit de manière centralisée sur un seul ordinateur, soit de manière distribuée. S. Terzi et S. Cavalieri (2004) différencie deux sous-catégories à la famille des simulations distribuées : la simulation en parallèle (par exemple les plateformes multiprocesseurs) et les simulations géographiquement distribuées (par exemple, sur des ordinateurs connectés en réseau local ou global). Néanmoins dans les deux cas, l'exécution du modèle de simulation est réalisé par décomposition en sous-modèles ensuite distribués, chacun d'eux étant exécuté par une ressource différente. S. Terzi et S. Cavalieri (2004) justifient, dans certains cas, le recours à la distribution de la simulation en terme de :

- réduction des temps de calculs et donc de temps de simulation ;
- reproduction d'un système réel géographiquement distribué ;
- intégration de plusieurs modèles de simulation existants ou l'intégration de différents outils et langages différents ;
- diminution des erreurs de simulation ;
- test indépendant de différents modèles ;
- déploiement progressif d'un système de gestion ;
- ...

## 4.2 La simulation à événements discrets

Comme son nom l'indique, dans la simulation à événements discrets, la notion d'événement est centrale. Un événement marque le moment de déclenchement d'une activité dans le temps. Ce déclenchement permet la mise à jour de l'état des objets impliqués dans cet événement, qui en retour peuvent définir de nouveaux futurs événements. De ce fait, la notion d'événement constitue une classe d'objets dont les principaux attributs seront :

- *Nom* : le nom de l'événement ;
- *Date* : la date de déclenchement de l'événement ;
- *Objet support* : la référence à l'objet qui est directement responsable de l'activité ou des activités déclenchées par cet événement. Néanmoins, comme il peut s'agir d'un enchaînement plus ou moins long d'activités, certaines d'entre elles peuvent également impliquer d'autres objets, qui seront, eux aussi, associés à l'événement mais de manière indirecte ;
- *Méthode de priorisation* : elle permet de choisir un événement parmi un ensemble d'événements devant être déclenchés à la même date.

Thierry *et al.* (2008) définissent l'algorithme de simulation d'un modèle à événements discrets autour de quatre phases (illustrée par la Figure 3.12) :

- *initialiser* le système avec des objets, des valeurs initiales pour les attributs de ces objets et une liste d'événements positionnés dans le temps ;
- *choisir* dans la liste le prochain événement dans le temps et utiliser, au besoin, des règles prédéfinies pour ordonner les événements simultanés ;
- *mettre à jour* l'état du système en considérant les effets de l'événement considéré. Ces effets peuvent être multiples : création/suppression d'objets, déclenchement de méthodes, modification de la valeur des attributs des objets... ;
- *ajouter* à la liste le ou les événements induits par l'événement sélectionné. Revenir en suite au point 2 tant que la date de fin de la simulation n'est pas atteinte.



Figure 3.12: principe de fonctionnement d'un modèle à événements discrets

Le modèle de simulation permet la prise de mesures à chaque période simulée. C'est à partir de celles-ci que se construira la démarche d'analyse.

### 4.3 Les modèles de simulation à base d'agents

Les modèles de simulation à base d'agents sont souvent associés dans la littérature à la notion de plate-forme permettant le développement et la simulation de modèles multi-agents. O. Labarthe *et al.* (2006) décrivent les caractéristiques principales de toute plate-forme de simulation multi-agents :

- paramètres du modèle qui expriment les besoins de l'étude ;
- interface utilisateur ;
- service de simulation, incluant des services génériques tels que la gestion du temps ou des événements
- modèle opérationnel agent.

Parmi les différents projets et travaux de recherche présentés à la section précédente, une partie utilise des plate-formes génériques existantes : SWARM (projet 3<sup>1</sup>), MAJORCA (projet 6). (Galland *et al.*, 2003) ajoutent à cette liste des plate-formes telles que JADE (Bellifemine *et al.*, 1999), MAST (Boissier *et al.*, 1998), AREVI (Reignier *et al.*, 1998) ou AALAADIN (Ferber and Gutknecht, 1998). Les autres projets présentés ont développé leur propre modèle de simulation dans leurs travaux (MASCOT, DASch, ANTS, FOR@AC,...)

## 5 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de décrire notre démarche de modélisation en la situant par rapport à l'état de l'art. Celle-ci repose sur la construction successive de deux niveaux de modélisation, un modèle représentatif puis un modèle de simulation, à partir d'un système réel perçu et observé dans un but précis. Nous avons, décrit pour chacun d'eux, différents critères de différenciation. Dans la Figure 3.13, nous proposons un bilan général sur ces critères auxquels viennent s'ajouter des éléments concernant des types de problématiques qu'il est possible de rencontrer lorsqu'il s'agit de modéliser une chaîne logistique. Le but de cette figure est de donner une liste de critères nous permettant de différencier les outils existant pour mener à bien une démarche de modélisation. En revanche, celle-ci ne donne pas d'information sur le fait que l'utilisation d'un type de modèle peut empêcher ou faciliter l'utilisation d'un autre.

Les critères distinctifs pour les modèles représentatif et de simulation sont ceux décrits plus haut dans ce chapitre. Pour distinguer les problématiques, nous avons établi cinq familles de critères :

- Centralisation du système de pilotage : sommes-nous face à un système dont le pilotage est centralisé ou distribué ?
- Décomposition systémique : sur quel(s) niveau(x) de la décomposition est centrée l'analyse ? (système opérationnel, d'information ou de pilotage)
- Catégorie des décisions prises : quelle(s) est (sont) le(s) type(s) des décisions observées ? (stratégique(s), tactique(s) ou opérationnel(s))
- Comportement : est-on face à des décideurs qui maximisent ou minimisent des fonctions à optimiser ou plutôt à des décideurs qui mettent en œuvre des heuristiques pour chercher des « bonnes » solutions ?
- Phase de la chaîne : dans quel contexte se place l'analyse ? Est-on en train de chercher et se poser des questions sur l'implantation d'un ou plusieurs acteurs de la chaîne ou est-on plutôt en train de paramétrer les relations à mettre en place pour une chaîne existante ou est-on en train d'analyser le comportement de la chaîne définie et paramétrée dans sa phase d'exploitation ?

<sup>1</sup> Numérotation relative au Tableau 3.3 plus haut

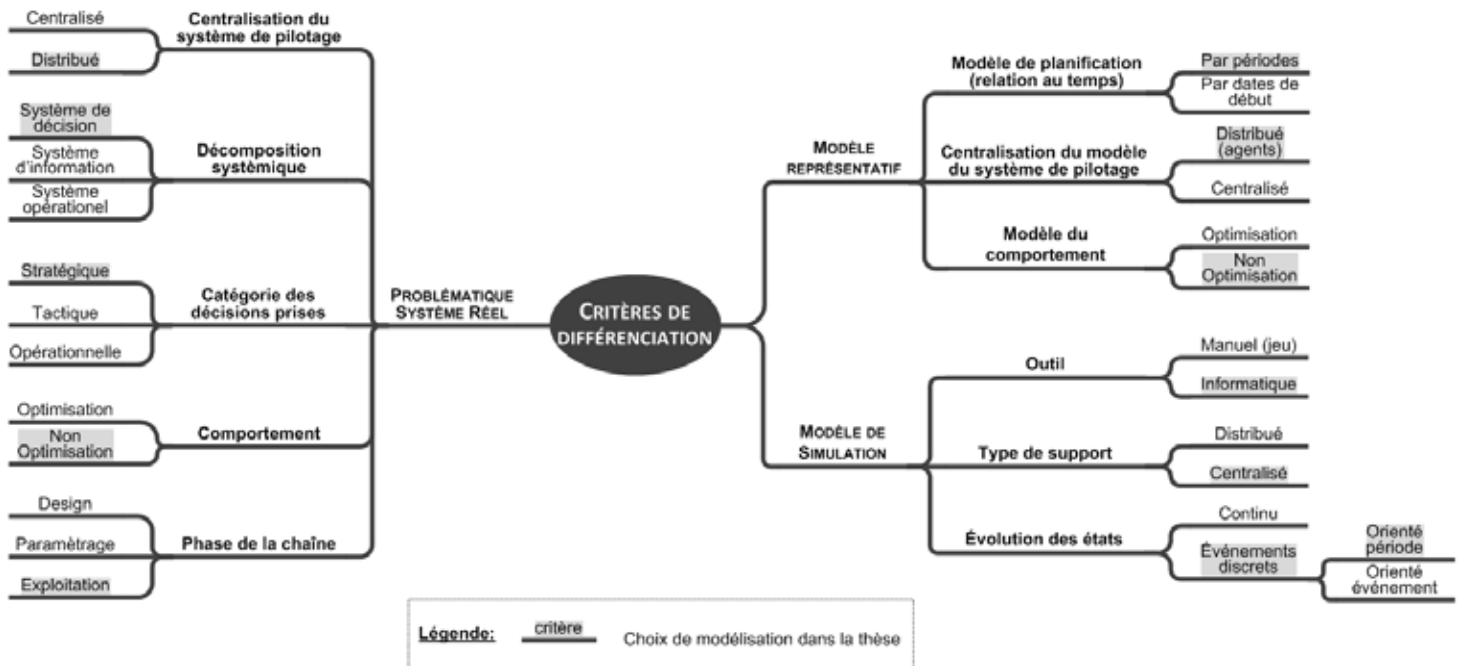


Figure 3.13: Bilan sur les critères de distinction des problématiques, des modèles représentatif et de simulation

J. Mahmoudi (2006) a proposé un outil pour aider à la coopération pour la planification distribuée des capacités au sein d'une chaîne logistique. Il s'agit d'un outil de simulation à événements discrets, appelé LogiRisk. Il permet l'évaluation de comportements de planification des partenaires plus ou moins coopératifs, pour différents scénarios de comportement du marché. Les modèles associés à cette démarche ont été construits sur la base d'une expérience et d'une expertise dans le secteur de l'électronique et des télécommunications.

Un des enjeux de la thèse présentée dans ce mémoire a été d'étendre les fonctionnalités de LogiRisk afin d'en généraliser l'utilisation à d'autres contextes d'analyse. Notre approche s'inscrit pleinement dans la démarche de modélisation qui a été présentée dans ce chapitre. La Figure 3.13 illustre la manière avec laquelle elle se situe par rapport aux approches possibles (choix surlignés en gris). L'introduction générale de ce manuscrit a présenté la première facette de notre problématique : nous allons chercher à simuler le système de pilotage d'une chaîne logistique distribuée en phase d'exploitation en nous concentrant sur les processus stratégiques d'acteurs basés sur des heuristiques. Le but du chapitre suivant est donc de présenter en détails les modèles associés à la version actuelle de l'outil. Nous présenterons la démarche de modélisation associée à LogiRisk suivant les deux modèles identifiés : le modèle « représentatif » (modèle de type distribué par période basé sur des heuristiques), et le modèle « de simulation » (modèle informatique et centralisé à événements discrets orienté par période).

## RESUME

Ce chapitre cherche à établir un état de l'art sur la notion de la modélisation et son application à la modélisation de la chaîne logistique. Sur la question des notions de modèles et modélisations, nous sommes face à une littérature riche où bon nombre de définitions cohabitent. Parmi celles-ci, nous avons surtout retenu le double rôle d'une démarche de modélisation : représenter et simuler. La représentation doit permettre de structurer une certaine connaissance du système observé par abstraction. L'abstraction se présente alors comme le moyen, la méthode ou la technique utilisé pour extraire du système réel les éléments pertinents vis à vis de l'objectif d'analyse. La simulation doit permettre quant à elle la reproduction des comportements du système afin de les comprendre et surtout de les anticiper.

Sur cette base, une démarche en quatre étapes a été proposée : système réel – modèle représentatif – modèle de simulation – utilisation par un décideur. Le passage du système réel au modèle représentatif est réalisé par abstraction (qui inclut la validation). L'obtention du modèle de simulation s'effectue par transcription du modèle représentatif dans un langage exécutable (informatique dans la plupart des cas) (inclus la vérification). Si ces deux premières transformations incombent à l'homme d'étude, la dernière étape (analyse) constitue l'utilisation du modèle de simulation par un décideur afin d'évaluer les conséquences possibles de certains de ces choix.

La suite du chapitre a consisté à analyser la bibliographie pour identifier des critères existant pour distinguer les différents modèles (représentatifs et de simulation). L'accent a été particulièrement mis sur les modèles (représentatifs) de systèmes de pilotage distribués, assimilés dans nos travaux aux systèmes multi-agents (SMA). Les SMA apparaissent comme bien adaptés pour représenter des systèmes multi-acteurs distribués face à des problématiques diverses et notamment pour traiter la question de la coordination d'entreprises au sein d'une chaîne logistique. Pour illustrer ce point, différents projets et travaux de recherche (15) ont été présentés. Il apparaît que peu d'entre eux traitent explicitement de notre problématique (notamment la question du positionnement sur l'horizon stratégique de celle-ci). Nos choix de modélisation ont été situés vis à vis des approches existantes dans la conclusion avant d'être détaillés au prochain chapitre.





# **PARTIE II : PROPOSITION**



# Chapitre 3

## LogiRisk, outil de simulation à événements discrets à base d'agents

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION (CADRE D'ANALYSE)</b>	<b>100</b>
<b>2</b>	<b>LE MODELE REPRESENTATIF DE LOGIRISK</b>	<b>102</b>
2.1	LE CŒUR DU MODELE	103
2.1.1	<i>Vision générale d'un acteur</i>	103
2.1.2	<i>Les processus de planification d'un acteur</i>	105
2.1.3	<i>Les protocoles de collaboration</i>	121
2.2	LES MODELES AMONTS ET AVALS	125
2.2.1	<i>Agent amont</i>	125
2.2.2	<i>Agent aval</i>	125
<b>3</b>	<b>LE MODELE DE SIMULATION</b>	<b>137</b>
3.1	TRAITEMENT D'UNE EXPERIENCE (NIVEAU BAS)	137
3.1.1	<i>Traitement d'une expérience : principe général</i>	137
3.1.2	<i>Implémentation des agents</i>	139
3.1.3	<i>La gestion des événements</i>	139
3.1.4	<i>La génération de nombres aléatoires</i>	140
3.1.5	<i>Bilan</i>	141
3.2	DEFINITION ET TRAITEMENT D'UN PLAN D'EXPERIENCES (NIVEAU HAUT)	142
<b>4</b>	<b>ELEMENTS DE VALIDATION</b>	<b>144</b>
4.1	DES INDICATEURS POUR VALIDER LE MODELE DE SIMULATION (VALIDATION DU SYSTEME REEL)	144
4.1.1	<i>Evaluation globale</i>	145
4.1.2	<i>Evaluation « statique »</i>	146
4.1.3	<i>Evaluation « dynamique »</i>	148
4.2	VALIDATION STATISTIQUE DES RESULTATS DE SIMULATION (VALIDATION DES OBJECTIFS D'ANALYSE)	151
4.2.1	<i>Résultats de simulation</i>	151
4.2.2	<i>Analyse statistique (plans factoriels complets)</i>	151
4.2.3	<i>Illustration</i>	154
<b>5</b>	<b>CONCLUSION ET DISCUSSION</b>	<b>158</b>
	<b>RESUME</b>	<b>159</b>

# Chapitre 3

## LogiRisk, outil de simulation à événements discrets à base d'agents

### 1 Introduction (cadre d'analyse)

Au travers de cette thèse, notre objectif est de contribuer à la proposition d'outils et de démarches pour aider à décider dans le contexte du management des chaînes logistiques. Pour cela, nous nous proposons de mettre en œuvre une démarche de modélisation telle que décrite au chapitre 2. L'analyse bibliographique, qui y est faite, instaure l'identification de la problématique et de son contexte comme point de départ incontournable de toute démarche de ce genre. Aussi générique se veut-elle, la démarche n'a de sens que si elle prend pied dans une réalité donnée. L'explicitation du cadre d'analyse joue ce rôle de définition de la réalité à observer. Il décrit le système étudié et fixe les conditions et les limites de l'étude. En d'autres termes, il permet de formuler le problème auquel doit répondre un ou plusieurs décideurs.

En tant qu'homme d'étude, notre première tâche est donc de définir les limites du problème que nous cherchons à étudier. L'introduction générale de ce mémoire a permis de décrire le management des chaînes logistiques, processus de décisions complexe intégrant trois éléments de base : des comportements individuels de décision, des protocoles de collaborations et bien sûr des aléas. A la question « quel est l'objet de l'analyse ? », nous serions donc tentés de répondre en première approche : « la chaîne logistique, définie par ses trois éléments de base ». Néanmoins, la réalité industrielle nous montre que l'analyse fine des chaînes dans leur globalité est impossible ou nécessiterait, du moins, un nombre considérable de données et d'informations. D'ailleurs, qui chercherait à représenter en détails tous les comportements, les protocoles et les aléas de la chaîne logistique de l'A380 ?

Avant d'être « modélisateur », l'homme d'étude est donc « observateur ». Dans ce registre, il endosse le costume du « biologiste » face à l'observation d'un échantillon au microscope (le parallèle s'arrête à l'utilisation de microscopes optiques !). Dans sa mise au point, ce dernier est confronté à une double préoccupation : « à quelle grosseur observer l'échantillon ? » et « quelle est la partie de l'échantillon à observer ? ». D'un point de vue technique, cela correspond pour lui à deux « leviers », deux « molettes ». Le premier consiste à choisir le bon objectif (grossissement) et son réglage. Le second permet de faire translater l'échantillon sur sa platine (mobile) afin d'en sélectionner la partie à observer (l'observation est décidément décision).

Pour le moins observateur, l'homme d'étude est confronté, dans notre cas, à un échantillon qui n'en est plus un, puisque « surdimensionné » (la ligne de fabrication d'une voiture ou d'un bateau) et souvent même « dématérialisé » (les processus de décision d'une banque ou d'une administration). C'est à l'objectif, cette fois-ci, de se déplacer pour faire face à la partie du système qu'il désire observer. Si la comparaison s'arrête donc là, n'en reste pas moins les deux questions qui guident la mise au point :

- le choix du *niveau des décisions* observées: design de la chaîne ou choix d'un partenaire (niveau 1), paramétrage de la relation entre un acteur et ses fournisseurs (niveau 2) ou bien gestion de l'atelier ou d'un processus de production ou de livraison particulier (niveau 3) (choix des rectangles dans la Figure 4.1 qui reprend la vision de la chaîne introduite dans l'introduction générale) ;
- le choix du *lieu des décisions* observées : ici, il s'agit plutôt de savoir où dans la chaîne effectuer l'analyse (positionnement de la loupe à l'intérieur du rectangle).

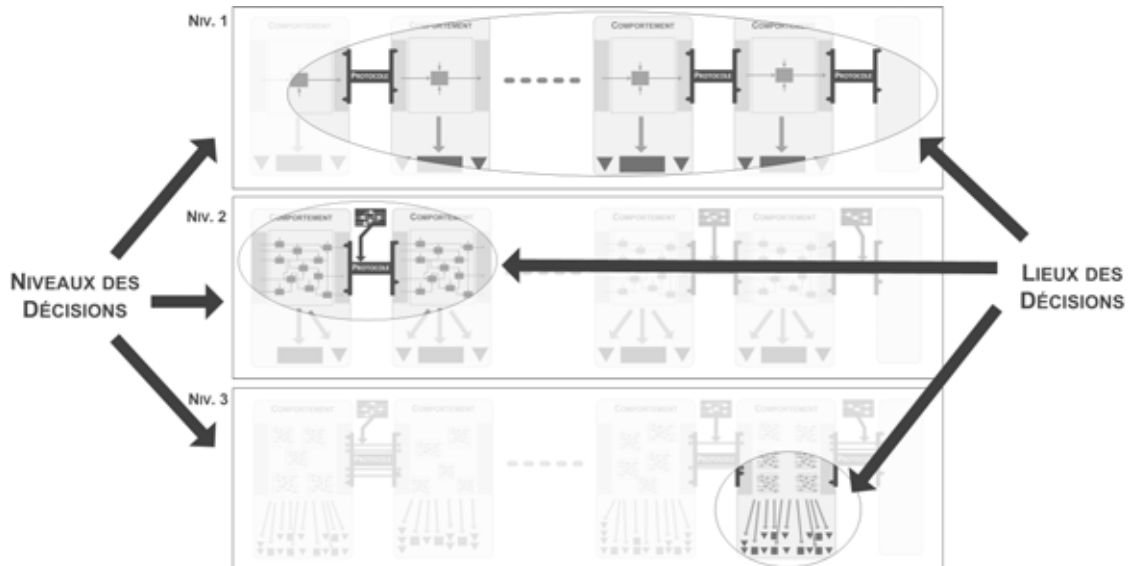


Figure 4.1: Niveaux et lieux des décisions observées

L'introduction générale a permis de positionner notre problématique au niveau 2. Dans notre situation, la chaîne existe et il s'agit d'aider à définir la collaboration entre des partenaires de la chaîne. Pour cela, nous allons construire un modèle du système de pilotage de la chaîne. Néanmoins, ce modèle doit tenir compte de la difficulté à modéliser toute la chaîne (dimension de la loupe). Le niveau d'abstraction à l'intérieur du modèle représentatif de la chaîne n'est donc pas uniforme. Le cœur de l'analyse (intérieur de la loupe) doit être traité avec le niveau d'abstraction cible. En revanche, ce qui est en dehors peut être modélisé de manière plus macroscopique voire même parfois être occulté (par exemple en coupant la chaîne en amont en choisissant par hypothèse de fabriquer sans besoin de matières premières ni de composants).

La Figure 4.2 illustre cette distinction à l'intérieur du modèle représentatif d'une chaîne<sup>1</sup>. Au centre de celui-ci se trouve le cœur de modèle décrit avec le plus de détails. A ses frontières (limites amont et aval), il est en relation avec des modèles amont et aval qui lui fournissent certaines données et informations indispensables à son bon fonctionnement.

<sup>1</sup> Ici, linéaire mais le raisonnement s'étend facilement à des chaînes plus complexes ou chaque rang peut contenir plusieurs acteurs.

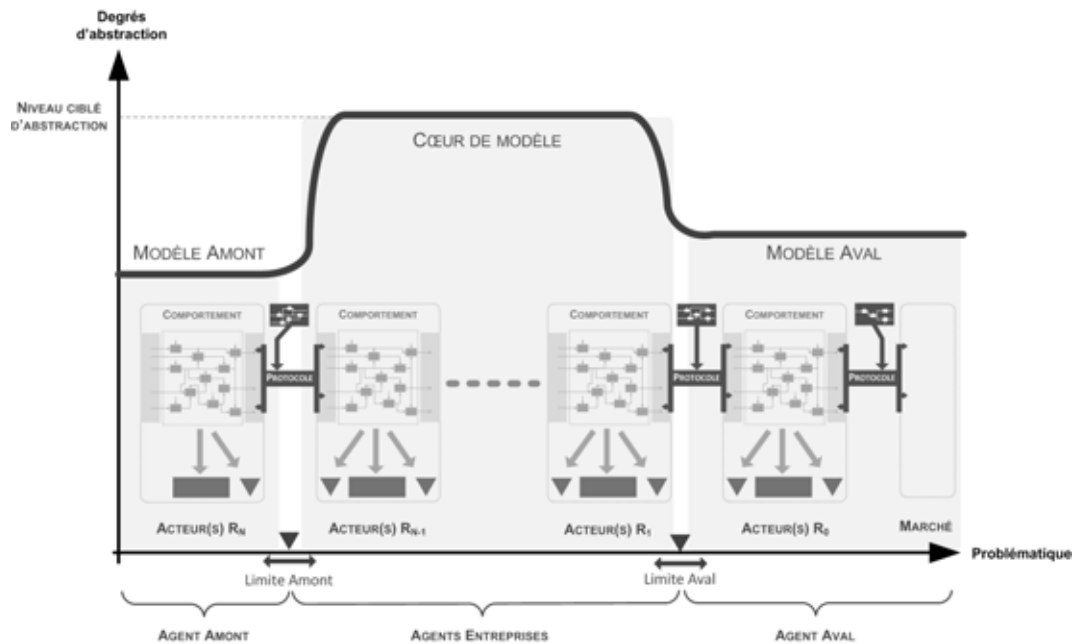


Figure 4.2: Décomposition du modèle représentatif par niveaux d'abstractions

Une première version d'un outil de simulation appelé LogiRisk a été développée par J. Mahmoudi (2006). Cet outil repose sur un modèle à base d'agents et permet de modéliser et de simuler des processus de planification distribués d'une chaîne logistique. Un des objectifs de la présente thèse a été de poursuivre le développement des modèles associés à cet outil afin d'en étoffer les capacités de représentation et donc de continuer à élargir son champ d'application à différents contextes industriels. Ce chapitre décrit l'outil LogiRisk dans sa version actuelle et la démarche globale de modélisation adoptée pour son développement.

Reprenant la décomposition entre modèle de représentation et modèle de simulation présentée précédemment, les sections 2 et 3 dressent un bilan de l'état actuel des modèles LogiRisk : les modèles représentatifs de la chaîne et les modèles de simulation. Dans la section 2, nous présenterons les détails de modélisation du modèle représentatif de la chaîne. La section 3 s'attardera sur l'implémentation informatique et le principe de simulation. Enfin, précédant la conclusion, la section 4 explicite la démarche de validation d'une partie du modèle de simulation et les indicateurs développés pour la supporter.

## 2 Le modèle représentatif de LogiRisk

L'objectif principal du modèle est de représenter les comportements de pilotage des différents acteurs de la chaîne ainsi que leurs méthodes de collaboration. Nous retrouvons bien la différenciation entre la notion de comportement d'acteur, relative aux activités de décisions individuelles de chaque acteur, et la notion de protocole de collaboration, relative aux processus de collaboration mis en place entre les différents acteurs et pilotés par eux. L'ensemble constitué des comportements et des protocoles doit être ensuite confronté à différents aléas, notamment aux aléas de la demande. Le but est ici d'aider à définir les processus de pilotage de la chaîne. Le niveau de granularité du modèle est donc assez élevé, centré sur les processus tactiques mais surtout stratégiques. Cette section s'attache à expliciter ce niveau d'abstraction sur les différents éléments constitutifs d'une chaîne logistique : les agents au cœur du modèle (2.1) du point de vue général (2.1.1), du point de vue de leurs processus de planification (2.1.2), les protocoles de collaboration (2.1.3) et les modèles amonts et aval (2.2).

## 2.1 Le cœur du modèle

Nous précisons que, dans tout ce chapitre, le terme « acteur » renvoie à l'acteur réel, l'entité de la chaîne considérée dans le système réel (phase 1 de la démarche de modélisation). Le terme « agent » renvoie à l'abstraction qui est faite de cet acteur dans le modèle représentatif (phase 2). A la section 3, le terme « objet » renverra à l'implémentation de l'agent dans le modèle de simulation (phase 3).

### 2.1.1 Vision générale d'un acteur

Au cœur du modèle LogiRisk, la chaîne logistique est constituée d'agents entreprises, aussi appelés agents LogiRisk. Un agent LogiRisk est un agent de type réactif. Il produit un ensemble de produits finis à partir d'un ensemble de composants. Composants et produits finis sont liés par la notion de nomenclature. L'objectif du modèle LogiRisk est, d'abord, l'analyse des processus stratégiques, puis, dans un second temps, celui des processus tactiques. Les produits et les ressources sont modélisés avec le même niveau d'agrégation que ceux utilisés pour un PIC (abstraction par agrégation). Cela se traduit par un raisonnement global à la famille de produits devant tous être produits sur une même machine goulot. Le modèle ne considère donc pas les références de produits à l'intérieur de la famille. Dans toute la suite, l'utilisation du mot « produit » réfèrera donc à la notion de famille utilisée dans tous les processus de planification.

L'hypothèse de base est que le processus physique de chaque acteur est vu comme une phase de production sur une ressource goulot suivie d'un certain nombre de phases sur des ressources non goulot. Dans cette situation seule la ressource goulot va être concernée par les processus de planification de la production. Les autres phases sont assimilées à un délai (voir Figure 4.3). Le modèle ne gère donc pas les références de produits intermédiaires. La phase de production relative à la machine goulot est, elle, caractérisée par une charge de travail exprimée en [période/produit]. Il est à noter que si l'analyse du système réel révèle plusieurs goulots à modéliser, alors il y aura autant d'acteurs que de goulots.

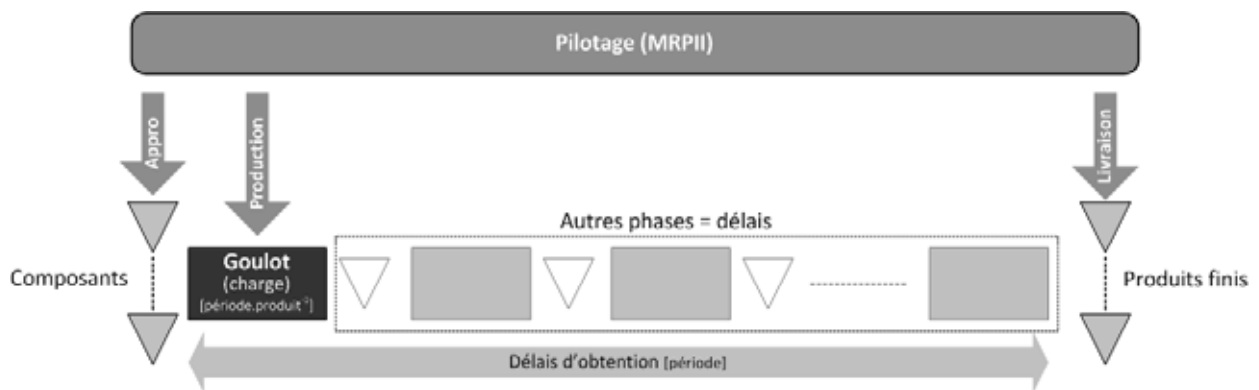


Figure 4.3: Modèle représentatif d'un acteur (agent LogiRisk)

La Figure 4.4 donne le schéma que nous utiliserons dans toute la suite pour illustrer le processus physique d'un agent LogiRisk : des composants, des produits finis, une charge sur un goulot et une durée.



Figure 4.4: Schématisation du processus physique d'un acteur LogiRisk



Un autre élément caractéristique du processus physique d'un acteur est la notion de délai. Elle peut différer d'un produit à l'autre. Comme illustré dans la Figure 4.5, trois types de délais sont différenciés dans le modèle (exprimés en nombre de périodes) :

- un délai relatif au temps de production, appelé « *délai d'obtention* » ( $DO$ ). Celui-ci est composé d'une durée sur la ressource goulot et de la durée cumulée sur les phases suivantes ;
- un délai relatif à la préparation, à l'envoi de la livraison et sa réception chez le client, appelé « *délai de transport* » ( $DT$ ) ;
- un délai relatif au temps de commande, appelé « *délai de livraison* » ( $DL$ ), qui représente le délai officiel entre le passage de commande du client et sa livraison par le fournisseur. Au moins égale au délai de transport, cette durée peut également intégrer une marge temporelle prise par le fournisseur afin de se donner un peu de flexibilité sur ses lancements en production.

La relation entre ces trois délais permet de distinguer une stratégie de production pour le stock (MTS) d'une stratégie de production à la commande (MTO). Si  $DL > DO + DT$ , nous sommes dans une situation de production à la commande. Si  $DT < DL < DO + DT$ , nous sommes dans une situation, de production sur stock (le cas  $DL < DT$  n'a pas de sens car cela signifierait que la préparation de la commande ait lieu avant la commande associée).

Les commandes d'approvisionnement sont anticipées du délai de livraison ( $DL$ ) par le client (Figure 4.5). Un besoin de composant chez le client à une date  $t_b$  se traduit par une commande reçue chez le fournisseur à  $t_{cde}$  telle que :

$$t_{cde} = t_b - DL \quad (4.1)$$

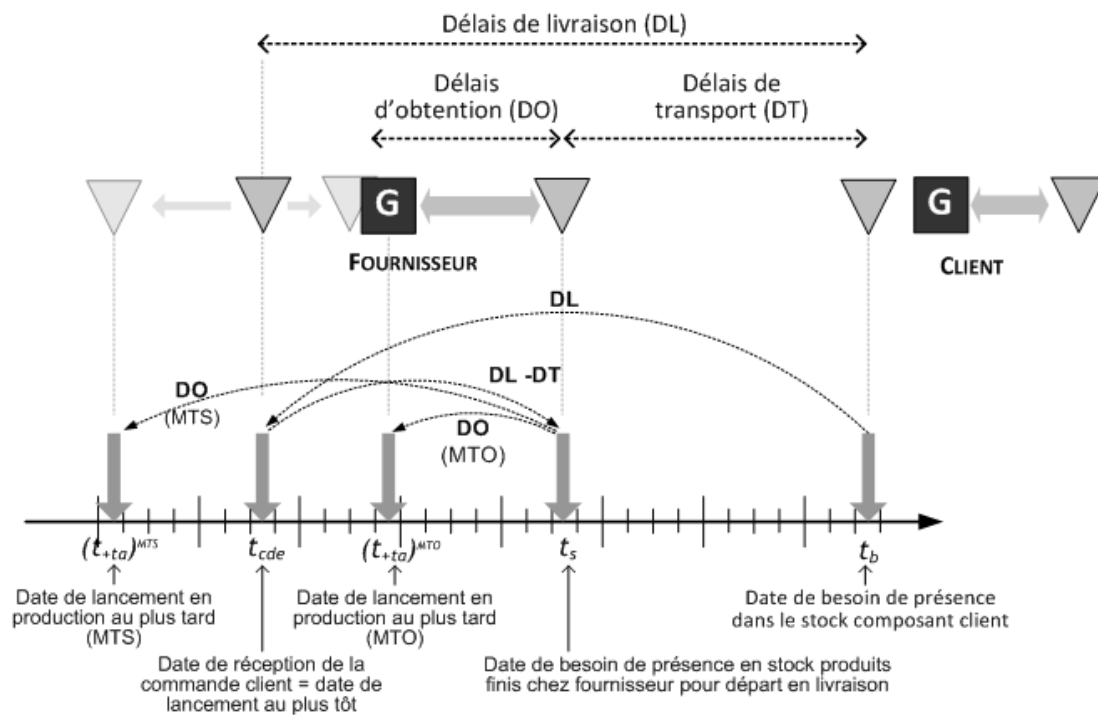


Figure 4.5: Les délais d'un acteur LogiRisk

Nous appelons  $t_s$  la date à laquelle les articles doivent être en stock chez le fournisseur, c'est à dire prêt à être livrés (juste anticipée du Délai de Transport  $DT$ ). Nous avons alors :

$$t_s = t_{de} + DL - DT \quad (4.2)$$

Enfin, la date de lancement en production au plus tard ( $t_{+ta}$ ) se détermine en intégrant le Délai d'Obtention ( $DO$ ) :

$$t_{+ta} = t_s - DO \quad (4.3)$$

La partie supérieure de la Figure 4.3 illustre également le fait que le processus de pilotage d'un acteur est représenté par trois fonctions :

- la gestion de la production sur la machine goulot (appelée fonction « *production* » dans toute la suite). Cette gestion de la production tient notamment compte des aléas de type pannes, consommateur de la capacité allouée. Ces pannes sont modélisées au travers d'une loi normale avec moyenne et écart-type ;
- la gestion des approvisionnements en matières premières de la machine goulot (appelée fonction « *supply* ») ;
- la gestion des livraisons de produits finis (appelée fonction « *dispatch* »).

L'ensemble des décisions associées à ces trois fonctions est basé sur la logique du processus MRPII. En reprenant la décomposition classique des horizons de décision « stratégique, tactique et opérationnel », il est possible de décrire différents processus de décision d'un acteur. Ces derniers seront abordés avec plus de détails dans la partie suivante.

### 2.1.2 Les processus de planification d'un acteur

L'objectif premier du modèle est de représenter les décisions des acteurs qui sont prises au niveau des processus de planification. La description des processus de planification comprend à la fois la réalisation d'activités de calcul (calcul des besoins, des charges...) et la représentation des comportements des décideurs vis à vis de ces calculs. Ces comportements caractérisent le positionnement des décideurs face à un choix sur le mode calcul à utiliser ou sur l'interprétation de résultats conflictuels de ces calculs. La Figure 4.6 donne une vision de l'ensemble des processus de décision modélisés dans LogiRisk.

Le modèle général des processus de planification d'un agent LogiRisk est basé sur un modèle « par période » (voir chapitre 2) du modèle MRPII. Trois niveaux d'horizon y sont différenciés : les long (stratégique), moyen (tactique) et court (opérationnel) termes, auxquels sont respectivement associés les quatre agents de planification suivant :

- (I) : *Sales and Operations Planning* (SOP): joue le rôle du Plan Industriel et Commercial (PIC) ;
- (II) : *Middle Term Planning* (MTP) : joue le rôle du Programme Directeur de Production (PDP) et du Calcul des Besoins Nets (CBN) ;
- (III) et (IV) : *Short Term Planning* (STP) et *Launch & Inventory Management* (L&IM): jouent le rôle du contrôle des opérations court terme.

Chaque agent de planification est associé à un unique agent entreprise. Les processus SOP et MTP sont modélisés avec plus de détails que les processus opérationnels (STP et L&IM). Ces derniers sont observés de manière macroscopique, au travers de bilans périodiques sur les flux, de manière à déterminer ce que l'acteur a souhaité envoyer en production sur la période aux vues de la capacité disponible (STP) et ce qu'il a pu réellement produire et livrer sur la période compte tenu des livraisons effectuées par ses fournisseurs (L&IM). les processus SOP et MTP partagent

certaines modèles. Dans les faits, ils se distinguent par les données avec lesquelles ils sont exécutés (différence sur la granularité des informations, leurs origines,...).

La suite de cette section sera consacrée à une description plus détaillée de ces différents agents (la numérotation I, II, III et IV sera conservée pour faire le lien à chaque fois à la Figure 4.6). Cette partie n'a pas pour ambition de présenter tous les détails du modèle représentatif des processus de planification d'un acteur. Elle cherche simplement à le décrire d'un point de vue fonctionnel. Nous renverrons tout le long vers le Tableau 4.2 pour la majorité des équations mathématiques associées.

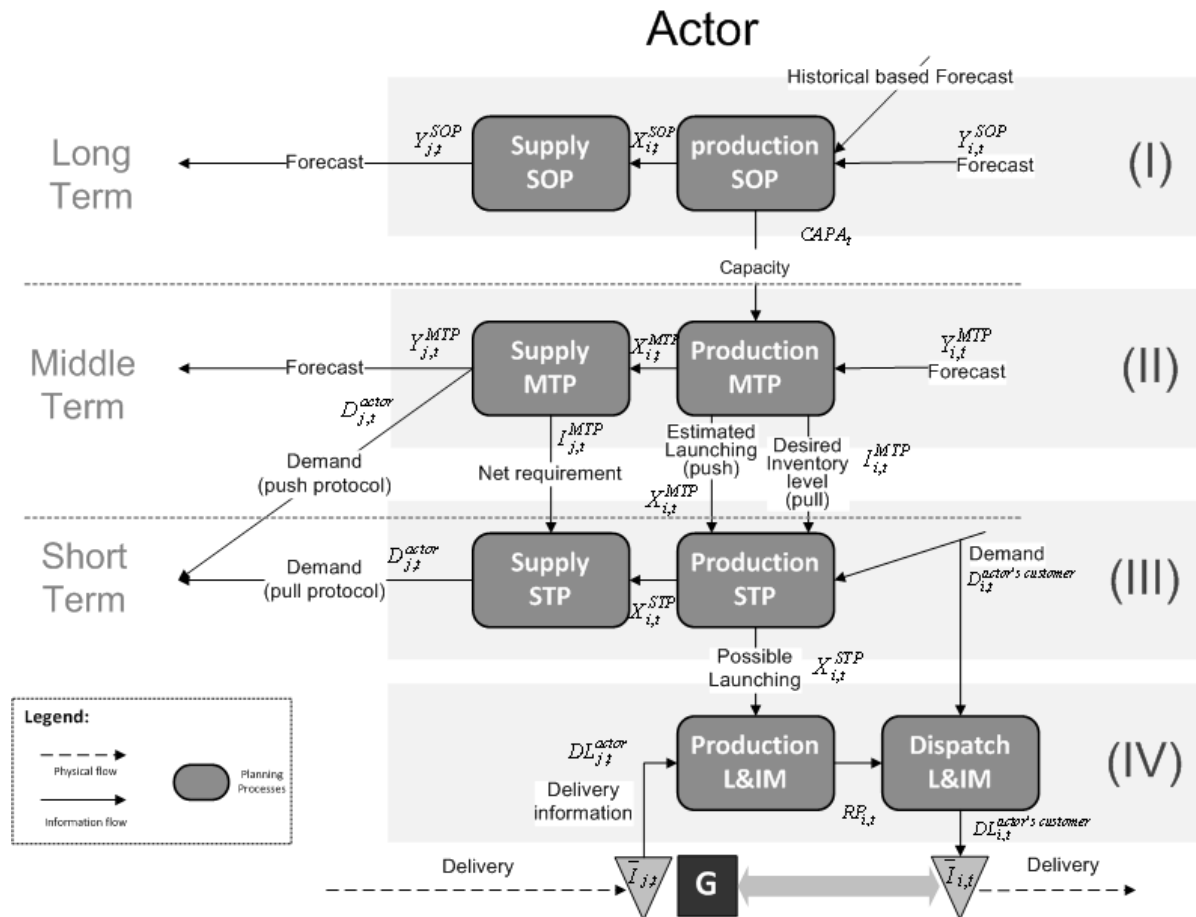


Figure 4.6: Processus de planification d'un acteur LogiRisk ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006))

Les notations associées aux schémas et aux explications qui seront utilisés par la suite dans ce chapitre sont les suivantes :

i	produit i	j	composant j
C	client de l'acteur	$l_i$	délai de production (resp. livraison) associé au produit i (resp. composant j)
$F_i$	prévisions de vente du produit i (resp. composant j)	$NR_{i,t}^p$	besoin net à capacité infinie de produit i calculée à la période t par l'agent p ( $\in [SOP ; MTP]$ )
$TL_i$	taille de lot de production (resp. livraison) du produit i (res. composant j)	$CAPA_t$	capacité décidée pour la période t
$\{ \}^{TL_i}$	Arrondi à un multiple de la taille de lot du produit i (resp. composant j)	$X_{i,t}^p$	Production planifiée de produit i planifiée à la période t par l'agent p ( $\in [SOP ; MTP ; STP ; L\&IM]$ )

$\delta$	taux d'acceptation de variation de capacité ( $\in [0 ; 1]$ )	$CAPA_t^{-1}$	capacité décidée pour la période t au PIC précédent
$r_i$	taux de rebut de production (resp. livraison) du produit i (resp. composant j)	$Rp_{i,t}$	Rupture totale de produit i à la fin de la période t
$XD_{i,t}$	Lancement en production souhaité par l'agent STP pour le produit i sur la période t	$I_{i,t}^p$	Niveau de stock planifié de produit i (resp. composant j) pour la fin de la période t par l'agent p ( $\in [SOP ; MTP ; STP ; L\&IM]$ )
$RP_{i,t}$	Réception prévue de produits i (resp. composant j) à la période t	$GR_{i,t}^p$	Besoin brut de produit i (resp. composant j) pour la période t calculé par l'agent p ( $\in [SOP ; MTP ; STP ; L\&IM]$ )
$SS_{i,t}$	Stock de sécurité exprimé en couverture pour le produit i (resp. composant j) pour la période t	$Y_{j,t}^p$	Approvisionnement planifié de composant j pour la période t calculé par l'agent p ( $\in [SOP ; MTP ; STP ; L\&IM]$ )
$BOM_{i,j}$	Coefficient de nomenclature liant le produit i au composant j	$D_{i,t}$	Demande totale de produit i (resp. composant j) reçu (resp. émise) par l'acteur depuis tous ses clients (resp. vers le fournisseur) pour la période t
$\bar{I}_{i,t}$	Niveau réel de stock de produit i (resp. composant j)	$\beta_{i,t}$	Niveau de disponibilité de la capacité affectée au produit i à la période t (capacité accordée moins pannes)
$D_{i,t}^C$	Demande totale de produit i (resp. composant j) reçu par l'acteur depuis le client C pour la période t	$QL_{i,t}^C$	Total des livraisons de produit i à la période t décidées par l'acteur pour le client C
$Pr_{i,t}$	Prorata des quantités à livrer produit i à la période t décidées par l'acteur	$I_{i,t}^{-,C}$	Total des ruptures vis à vis du client C pour le produit i à la période t
$RL_{i,t}$	Quantité réceptionnée de livraison de produit i (resp. composant j) à la période t	$RP_{i,t}$	Quantité réceptionnée de production de produit i à la période t
$I_{i,t}^-$	Total des ruptures vis à vis pour le produit i à la période t tous clients confondus	$e_r^l$	Chance ( $\in [0 ; 1]$ ) d'apparition d'un rebut (r) (resp. d'une modification du délai (d)) pendant la livraison (l) (resp. production (p))
$m_r^l$	Moyenne rebut (r) (resp. modification délai (d)) pendant la livraison (l) (resp. production (p))	$\sigma_r^l$	Ecart-type rebut (r) (resp. modification délai (d)) pendant la livraison (l) (resp. production (p))
$B(n; p)$	Tirage (1 ou 0) d'une loi binomiale (n tirages avec la probabilité de succès p)	$N(m; \sigma)$	Tirage d'un loi normale de moyenne m et d'écart-type $\sigma$

### 2.1.2.1 Les processus stratégiques : Sales and Operations Planning (SOP)

Les processus du *Sales and Operations Planning* (SOP) détaillent les différentes décisions associées à la planification long terme. Deux fonctions sont distinguées pour l'agent SOP : une fonction « supply » et une fonction « production » (Figure 4.6). Elles correspondent au double objectif de l'agent SOP. D'une part, il lui faut déterminer un plan prévisionnel de capacité de production de l'acteur pour la date  $t$  ( $Capa_t$ ). D'autre part, il faut réaliser une planification long terme de la production du produit  $i$  ( $X_{i,t}^{SOP}$ ), cohérente avec la décision de capacité, et qui permette d'établir un plan d'approvisionnement prévisionnel transmissible à ses fournisseurs pour chaque composant  $j$  ( $Y_{j,t}^{SOP}$ ). Ces deux objectifs constituent les sorties principales d'un agent SOP, telle qu'elle est illustrée dans la Figure 4.7.

La Figure 4.8 décompose les activités associées à cette fonction. Les résultats les plus importants de ces processus sont la détermination de la capacité de production accordée (plan de capacité calculé au Production SOP) et des plans prévisionnels d'approvisionnement (Supply SOP).

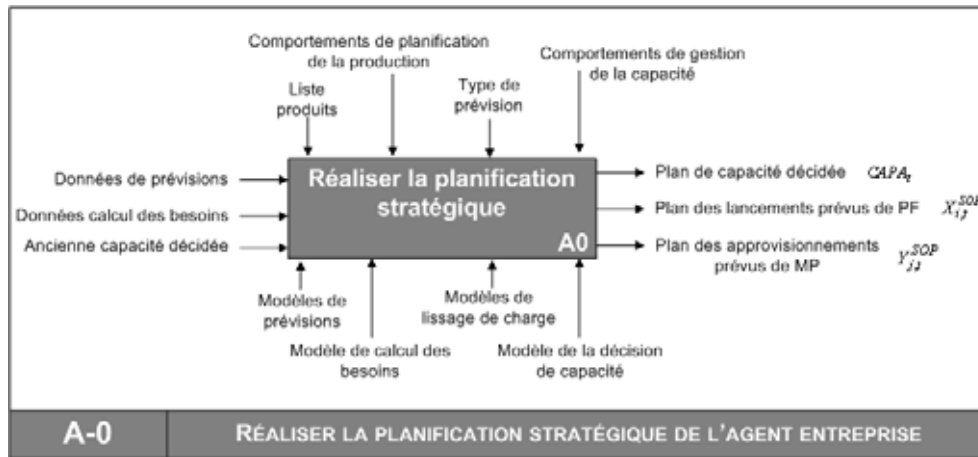


Figure 4.7: Fonction d'un agent SOP (agent I)

Prévisions de ventes (activité A1 sur la Figure 4.8) :

En terme de prévision, deux comportements d'agent « *type de prévision* » sont possibles (prévision *interne* ou *externe*). Le premier consiste, pour l'agent SOP, à utiliser les prévisions transmises à l'agent entreprise par d'autres agents entreprises (clients) ou par l'agent aval (responsable de la génération de la demande) (éq. (4.7) du Tableau 4.2). Un agent LogiRisk est capable d'enregistrer plusieurs plans de prévisions d'un même acteur et la date associée à chacun d'eux. Cette caractéristique correspond à la situation où l'acteur reçoit des plans de prévisions de demande, chacun possédant une longueur d'horizon différente (long et moyen termes par exemple). La compilation consiste à prendre les prévisions les plus « fraîches » pour compléter l'horizon des prévisions. Si deux plans ont été reçus à la même date, l'acteur privilégie les prévisions provenant d'un processus d'horizon de décision similaire (par exemple, ici une prévision SOP).

La seconde consiste dans l'utilisation par l'agent SOP d'un modèle de prévision (éq. (4.8)). Aujourd'hui, trois modèles sont possibles, tous appartenant à la famille des modèles autoprojectifs sur historique récent (Giard, 2003)<sup>1</sup> : exponentiel simple, exponentiel double ou exponentiel triple (modèle de Holt et Winters) et leurs paramètres associés.

L'algorithme de constitution des prévisions de l'agent LogiRisk tient compte également des demandes réelles au travers de la tenue d'un carnet de commandes. À chaque réception d'une commande d'un agent client, la quantité commandée est enregistrée à la date de besoin en stock produits finis (i.e.  $t_5$  dans la Figure 4.5). Le carnet de commandes est ensuite intégré aux prévisions.

<sup>1</sup> (Giard, 2003) dresse une typologie des techniques de prévisions structurée en deux grandes familles : les modèles explicatifs (équation unique (régression unique) et équations simultanées (modèles économétriques)) et les modèles autoprojectifs, dans lesquels il distingue les modèles sur historique récent (moyenne mobiles, lissage exponentiel...) et les modèles sur historique complet (moindres carrés,...). L'utilisation de modèles autoprojectifs, « qui ne s'opère sans trop de risque que sur le court terme », dans la planification stratégique et tactique peut constituer une limite à la version actuelle de l'outil ; limite dont la correction fait partie des perspectives à ces travaux.

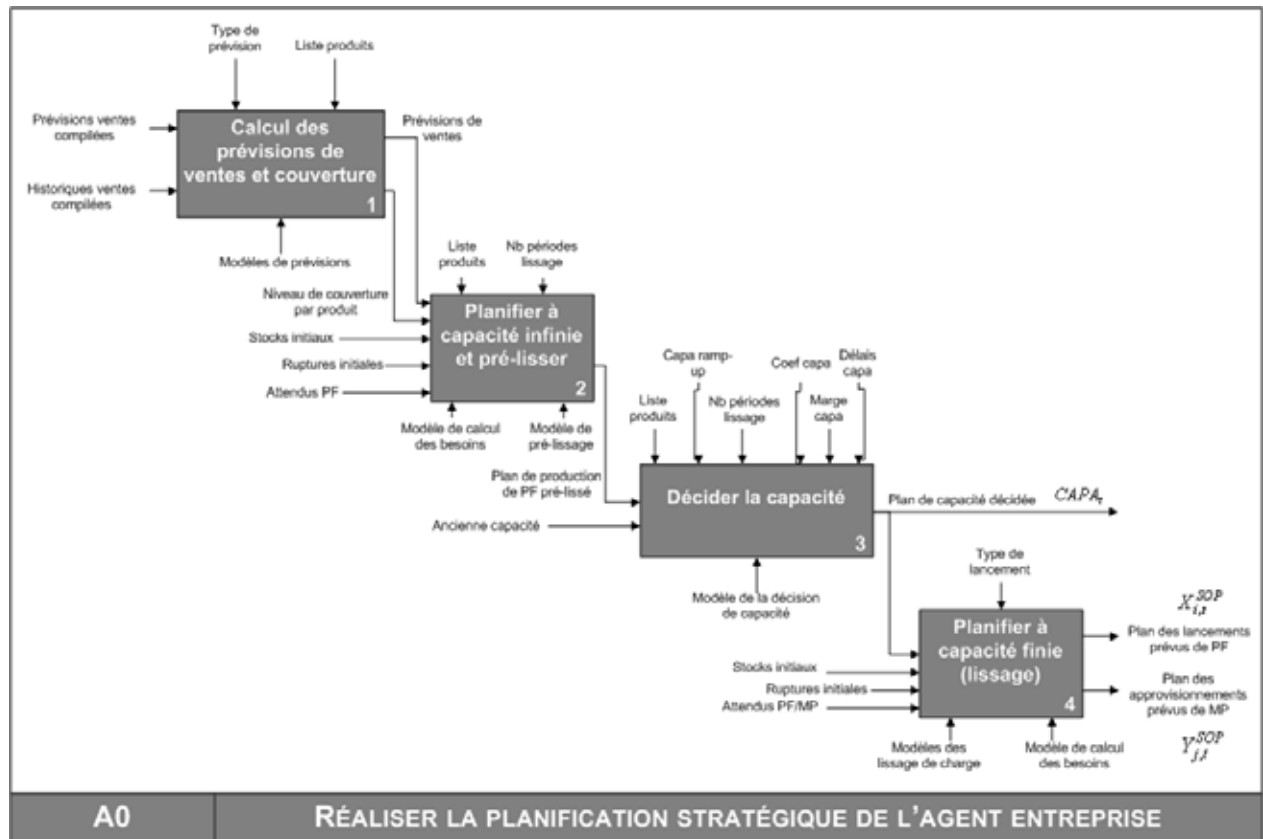


Figure 4.8: Décomposition des activités d'un agent SOP (agent I))

#### Planification à capacité infinie (activité A2 sur la Figure 4.8) :

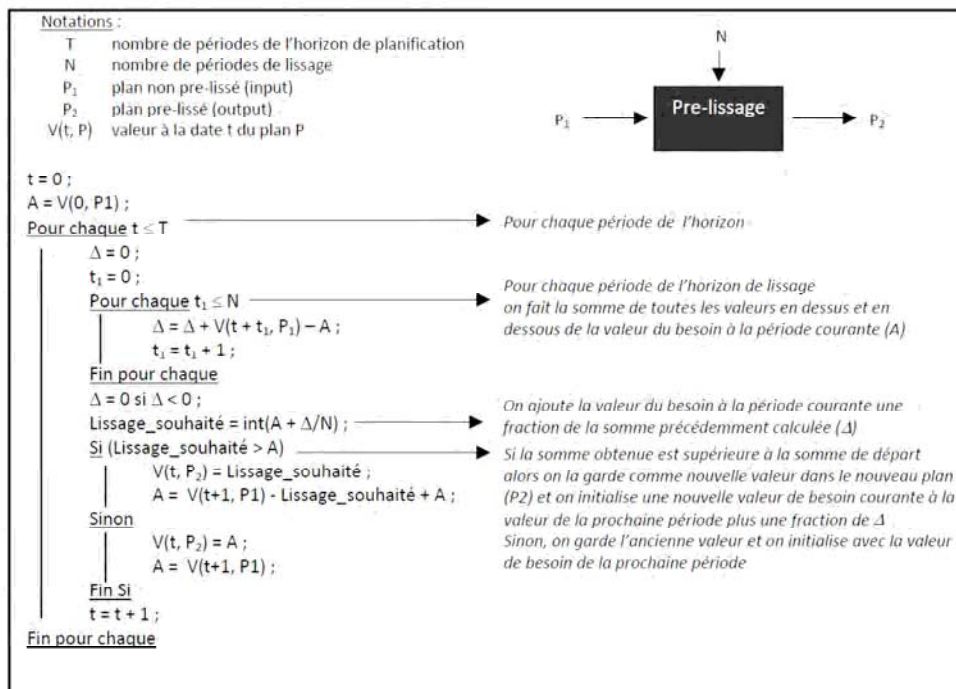
Une fois la prévision de vente établie, la charge de production est calculée sur la base d'un calcul des besoins classiques (MRP avec délai de production, rebut et stock de sécurité) (éq. (4.9)) où l'agent cherche toujours à planifier la production au plus tard. Elle est ensuite pré-lissée sur un certain nombre de périodes dans le modèle de calcul des besoins nets à capacité infinie. A ce stade, nous parlons volontairement de pré-lissage pour distinguer cette activité qui consiste à atténuer la variabilité du signal « charge de production » (*smooth\_1()*), du lissage à proprement dit qui consiste à assurer l'adéquation de la charge dans une capacité (non déterminée à ce stade) (*smooth\_2()*). Les détails de la fonction *smooth\_1()* sont donnés dans l'Algorithme 1. L'agent vise à faire une moyenne mobile sur N périodes mais en s'assurant de ne jamais retarder de besoins initiaux de production.

#### Décision de capacité (activité A3 sur la Figure 4.8) :

Cette charge pré-lissée permet d'établir un plan prévisionnel de capacité qui doit être validé par l'agent SOP (éq. (4.10)). Cette validation caractérise un comportement d'agent. Pour chaque période du plan, celui-ci compare le niveau de capacité demandé à celui qui avait été accordé au SOP précédent et n'accepte qu'un pourcentage de l'écart entre les deux. Cette décision, matérialisée par la fonction *capa()* dont les détails sont donnés par l'Algorithme 2, est caractérisée par plusieurs paramètres :

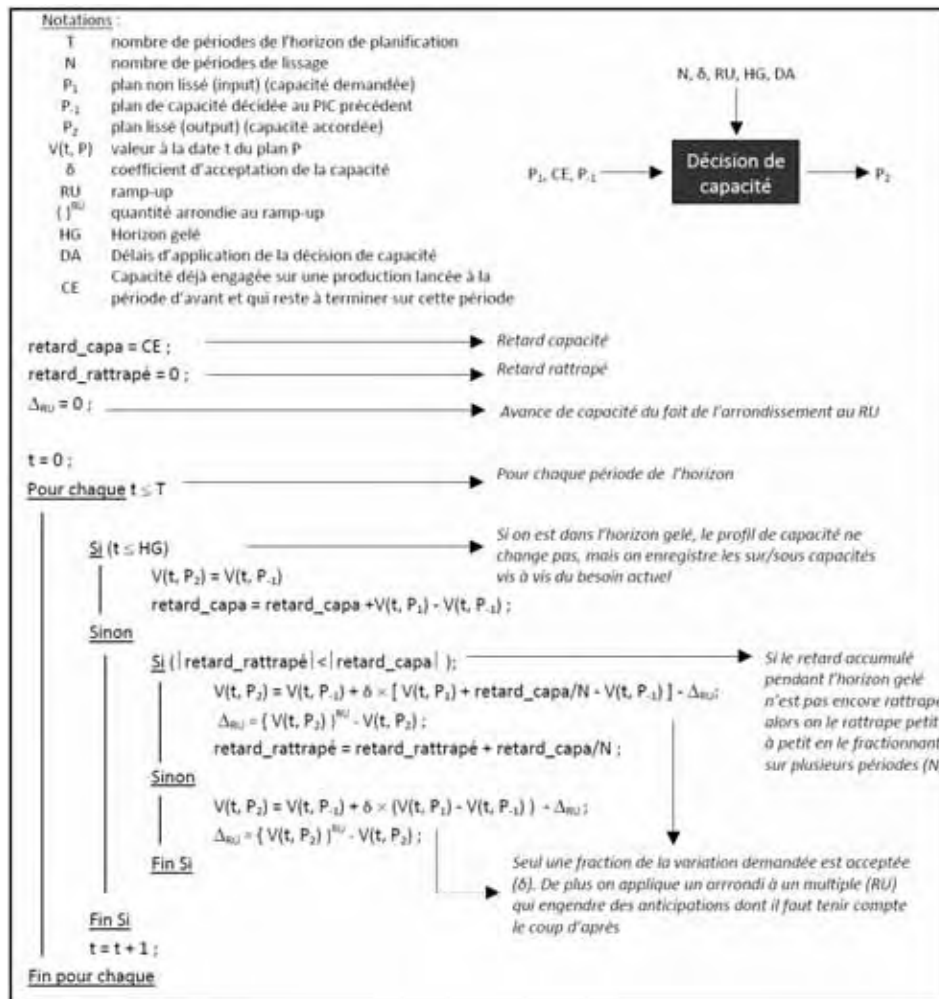
- un horizon gelé (*HG*) sur lequel le changement de capacité n'est pas possible (exprimé en nombre de périodes) ;

- un délai d'application ( $DA$ ) du changement de capacité. Lorsque le changement est décidé, il ne peut s'appliquer qu'au bout d'un certain temps (exprimé en nombre de périodes) ;
- un coefficient d'acceptation de la variation de capacité ( $\delta \in [0;1]$ ). Il établit le pourcentage de la variation acceptée ;
- une valeur (« ramp-up ») ( $RU$ ) de laquelle la capacité doit être un multiple (utilisée par exemple pour représenter les passages :  $1 \times 8$  /  $2 \times 8$  /  $3 \times 8$ ).



**Algorithme 1 : Pre-lissage d'un plan de production (*smooth\_1()*)**

L'horizon gelé correspond à un nombre de périodes au début de l'horizon durant lesquelles une décision de changement du niveau de capacité n'est pas possible. Dans cette période, le profil de capacité reste tel qu'il avait été décidé au PIC précédent. Néanmoins, avec l'avance réelle du temps, le besoin de production a pu évoluer et il peut manquer désormais de la capacité durant cette période gelée. Il faut donc enregistrer la capacité manquante (ou en trop) et la prendre en compte dès au sortir de l'horizon gelé. Pour éviter des pics à la première période non gelée, cette somme de capacité à rattraper est fractionnée en morceaux puis étalée sur plusieurs périodes. Ce phénomène est illustré dans la Figure 4.9 (fonction *capa()*).



Algorithme 2 : Décision de capacité (capa())

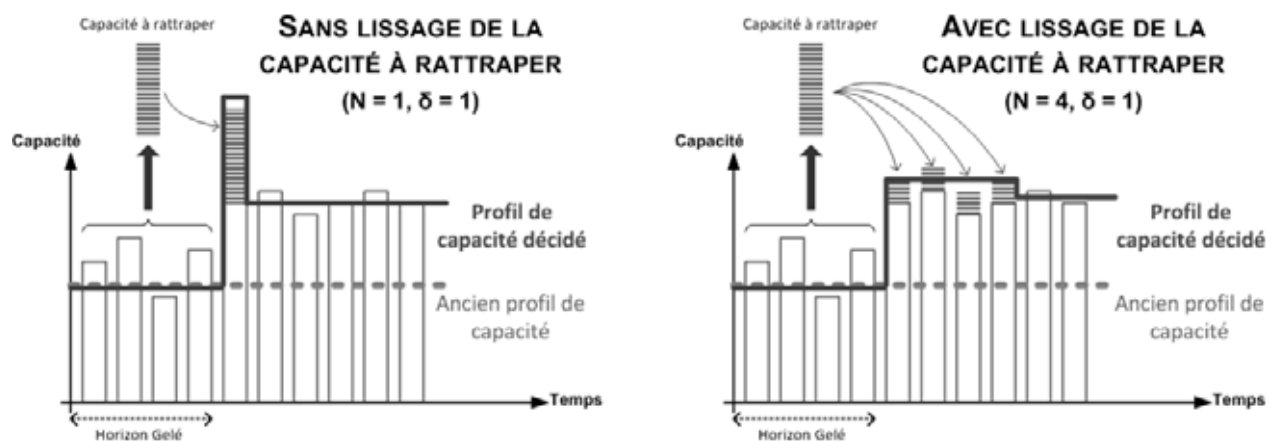


Figure 4.9: Effet du lissage sur le rattrapage de capacité



Planification à capacité finie (activité A4 sur la Figure 4.8) :

A partir de ce plan accordé de capacité, un plan de production ( $X_{i,t}^{SOP}$ ) est réalisé sur la base d'un calcul des besoins (éqs. (4.11) à (4.13)). C'est au niveau de ce processus que se réalise vraiment le lissage à une capacité donnée. Cela donne lieu à un comportement d'agent : le « *type de lancement* ». Ce comportement dépend de la stratégie de lancement en production vis à vis de la capacité. Deux choix sont possibles. Dans les deux cas, si le besoin dépasse la capacité, alors l'agent planifie un lancement égal à la capacité et il essaie d'anticiper la production au plus près de la période du besoin. Si l'anticipation n'est pas possible, la production est retardée à la période suivante la plus proche. En revanche, si le besoin est inférieur à la capacité :

- *lancement au besoin* : l'agent planifie un lancement égal au besoin (taille de lot) ;
- *lancement à la capacité* : l'agent cherche à planifier un lancement qui utilise le maximum de la capacité (à la taille de lot près). Pour cela, il commence par planifier les besoins calculés pour la période (taille de lot), puis complète la charge en anticipant des lots de production des périodes suivantes.

En règle générale, l'hypothèse est que les acteurs ont des délais de production sur la machine goulot relativement faibles par rapport à la période unitaire du modèle. Les lancements en production sont calculés pour chaque produit  $i$  avec un arrondi à la taille de lot. Or, certains systèmes réels sont caractérisés par des tailles de lot importantes. Nous avons rencontré des cas où l'arrondi à la taille de lot peut engendrer des ordres de fabrication dont la durée peut dépasser la semaine (période élémentaire dans le modèle représentatif). Le modèle est bâti sur l'hypothèse qu'il ne peut y avoir plusieurs ordres de fabrication d'un même produit pendant la période. Si fabrication il y a, elle se fait en une fois, même si celle-ci se termine à la période suivante. Pour l'agent, il faut donc être capable de prioriser les ordres de fabrications. Le comportement « *type de macro-ordonnancement* » a été introduit afin de représenter des situations où une taille de lot génère des charges sur la machine goulot non négligeables par rapport à la période unitaire du modèle. Ce comportement porte sur l'ordre dans lequel les produits sont traités pour utiliser la capacité décidée. Plusieurs critères de priorité sont possibles :

- *ordre croissant de taille d'OF* : les OF représentant les plus petites charges sont traitées en priorité ;
- *ordre décroissant de taille d'OF* : les OF représentant les plus longues charges sont traitées en priorité ;
- *ordre des noms de produits* : les OF sont pris dans l'ordre (numérique, alphabétique) des références de produit ;
- *pas d'ordre* : tous les OF sont considérés de la même manière. La capacité est répartie au prorata de la charge que chacun génère.

Enfin, les plans prévisionnels d'approvisionnement en composants ( $Y_{j,t}^{SOP}$ ) sont déterminés à partir des besoins bruts en composant calculés dans le plan de production (éqs. (4.14) et (4.15)).

### **2.1.2.2 Les processus tactiques : Medium Term Planning**

Les processus du *Medium-Term Planning* (MTP) réalisent les calculs traditionnellement associés au PDP et au CBN. L'objectif général d'un agent MTP est de produire un plan des lancements en production prévus de produits finis (PF), de matières premières (MP) et un plan de stockage prévisionnel de PF (Figure 4.10). Le niveau d'agrégation général du modèle s'arrêtant à la notion de famille de produits, un seul calcul des besoins est réalisé (les besoins de la famille sont éclatés sur les composants). Excepté la décision de capacité, le processus suit les mêmes activités que pour le SOP (Figure 4.11). Comme pour le SOP, la détermination des plans de prévisions peut

être soit *interne* soit *externe* (éqs. (4.7) et (4.8)). Au travers d'un calcul des besoins classiques (MRP), le plan de production moyen terme permet la détermination des ordres de fabrications à lancer et celle de plans prévisionnels de stock et d'approvisionnement (éqs. (4.11) à (4.15)). Par hypothèse, l'agent MTP est cohérent avec l'agent SOP et garde les mêmes comportements « *type de lancement* » et « *type de macro-ordonnancement* ».

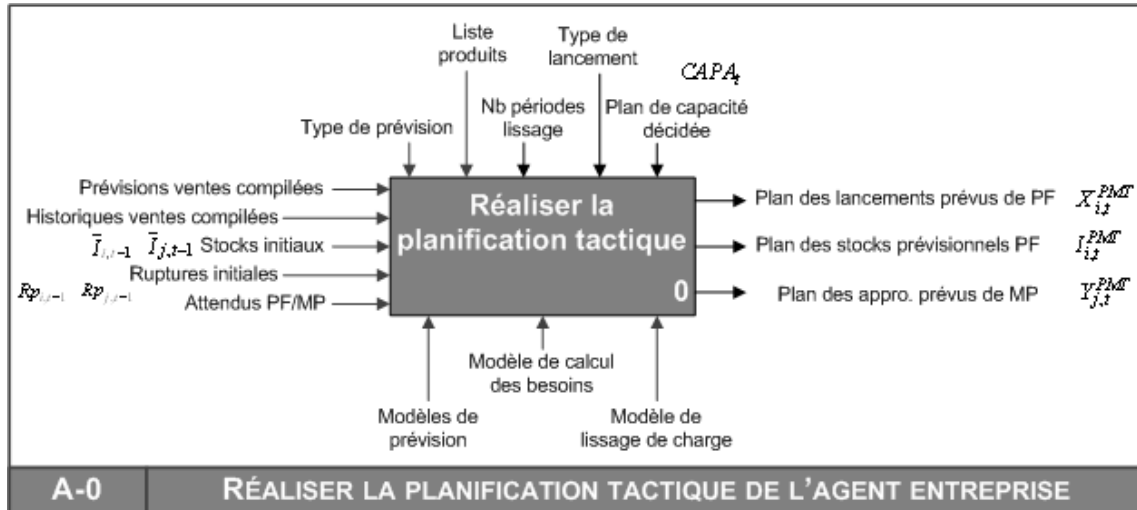


Figure 4.10: Fonction principale d'un agent MTP (agent (II))

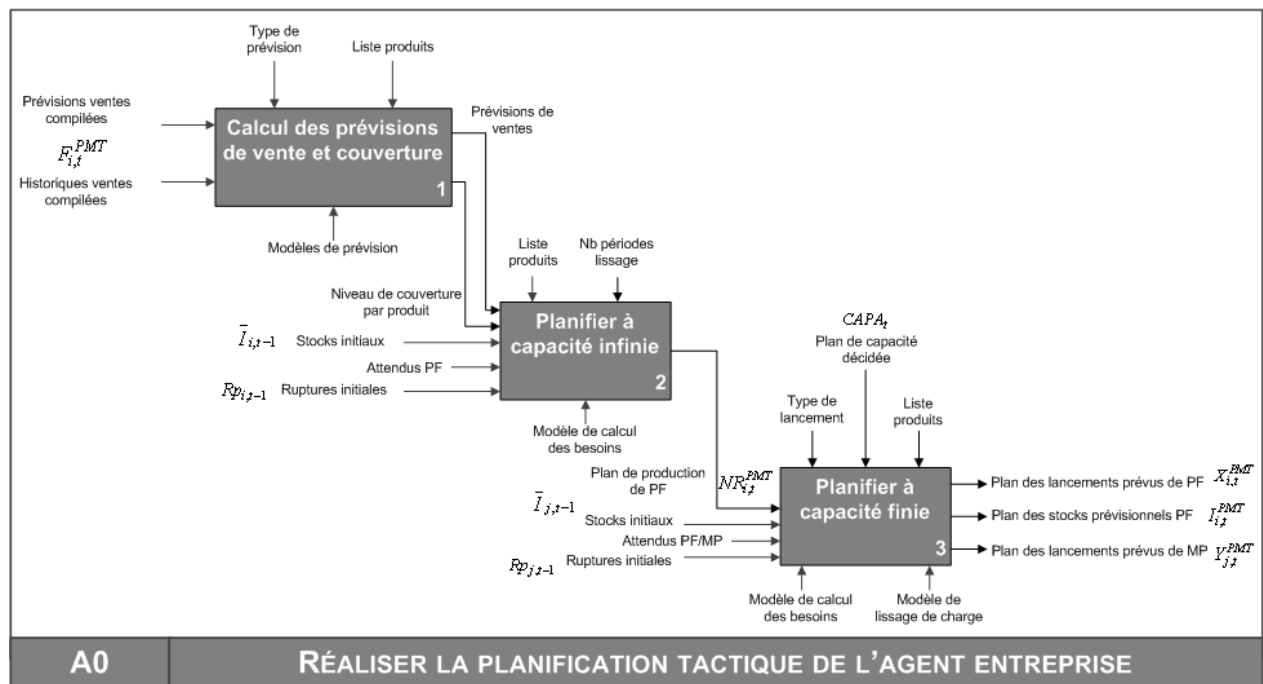


Figure 4.11: Décomposition des activités d'un agent MTP (agent (II))

### 2.1.2.3 Les processus opérationnels (1/2) : *Short-Term Planning* (STP)

L'agent *Short-Term Planning* (STP) modélise les différentes décisions des processus opérationnels court-terme mais avec une vision « bilan à la période » permettant de déterminer ce que l'agent a cherché à lancer en production, en fonction de ce qu'il souhaitait lancer et de sa capacité réelle (Figure 4.12 et Figure 4.13).

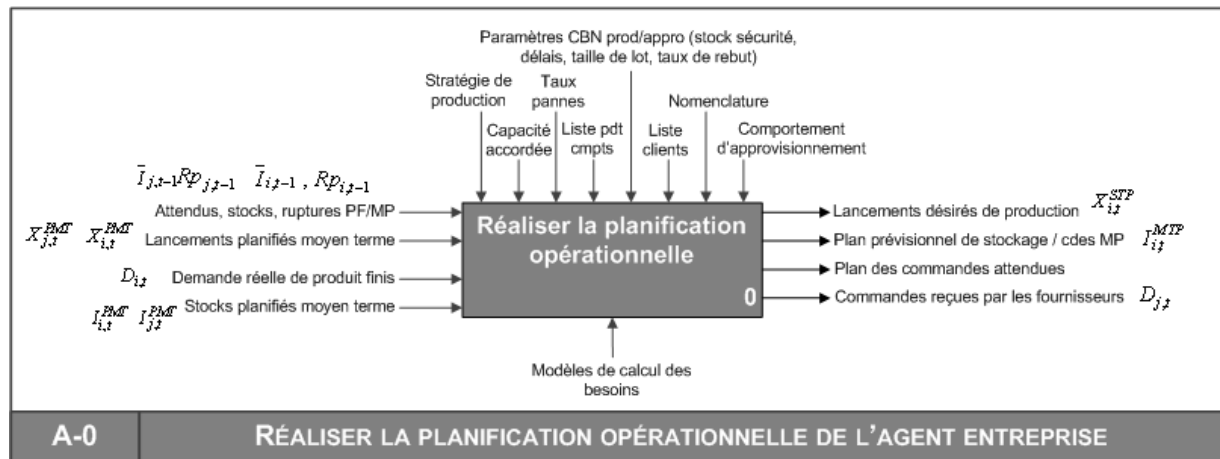


Figure 4.12: Fonction principale de l'agent STP (agent (III))

### Planification de la production souhaitée (A1) :

Les ordres de fabrication pris en compte pour déterminer les quantités souhaitées ( $XD_{i,t}$ ) peuvent avoir deux origines en fonction du comportement d'agent « *stratégie de production* ». En *flux poussé*, les ordres de fabrication sont ceux proposés par l'agent MTP (eq. (4.16)).

En *flux tiré*, le modèle repose sur l'idée que l'agent STP a une contrainte sur la somme du volume d'en-cours et du stock de produits finis (nous appellerons cette contrainte « ENCOURS + STOCK »). Nous ferons ici l'hypothèse que cette contrainte peut évoluer dans le temps d'après les résultats de la planification moyen terme (MTP) de l'agent. Ainsi, si la demande réelle se révèle supérieure (resp. inférieure) à celle prévue, l'agent sera autorisé à lancer plus (resp. moins) en production.

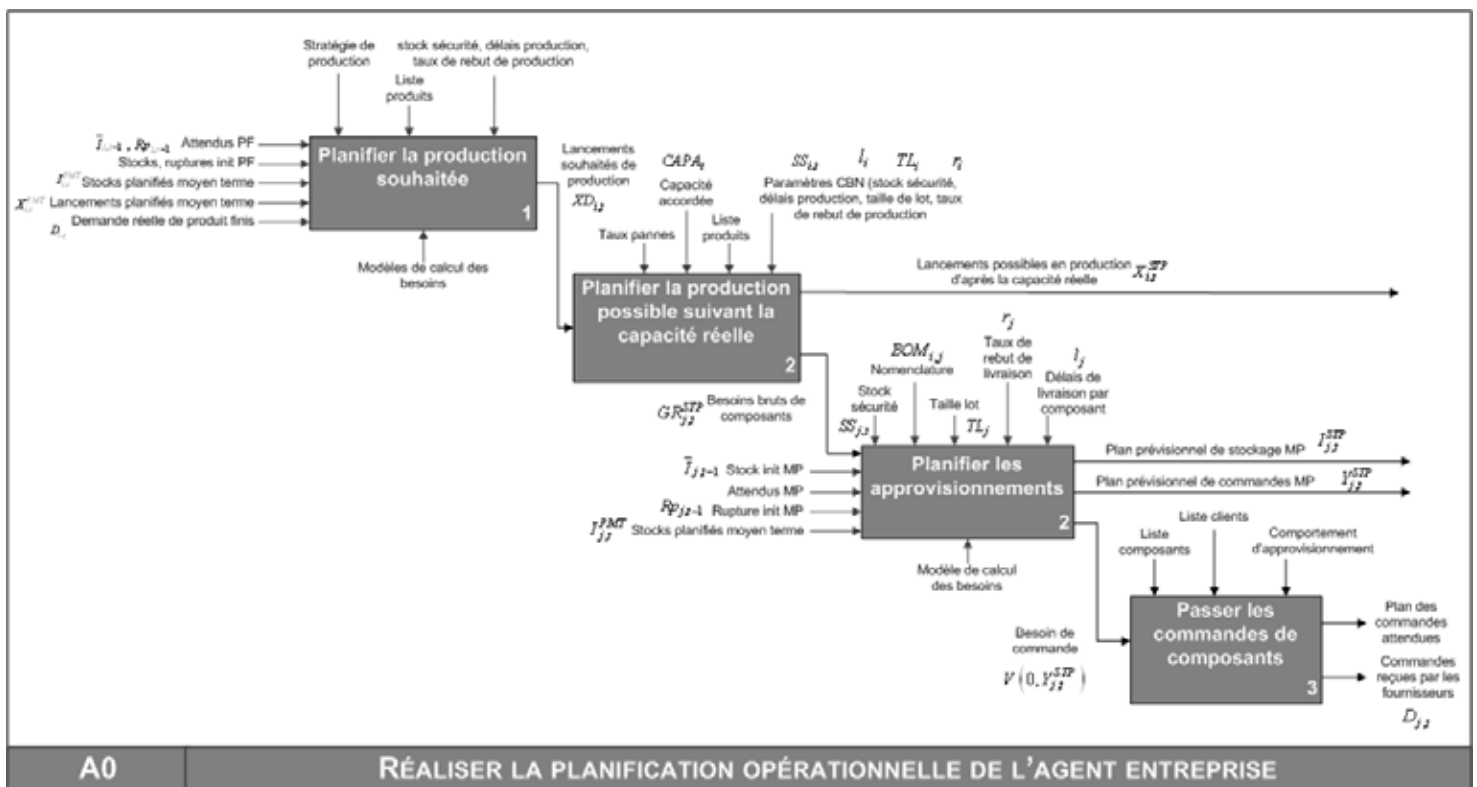


Figure 4.13: Décomposition des activités d'un agent STP (agent (III))

Le modèle se base sur les hypothèses suivantes :

- le lancement souhaité ( $XD_{i,t}$ ) sur la période est égal à la somme de la demande réelle ( $D_{i,t}$ ) et d'une variation voulue de la contrainte « ENCOURS + STOCK » pendant la période : l'agent souhaite lancer en production jusqu'à atteindre la contrainte « ENCOURS + STOCK » ;
- l'encours et le stock souhaités en fin de période se calculent d'après la planification du PMT ;
- les lancements en production durant la période se font de manière uniforme dans le temps.

L'état par rapport à la contrainte « ENCOURS + STOCK » en début de période  $t$  pour le produit  $i$  ( $NK_{i,t}^d$ ) est égal à la somme (i) du stock ( $\bar{I}_{i,t-1}$ ), (ii) des encours lancés dans le passé, dont la réception est prévue pendant la période ( $Att_i^t$ ), (iii) et des encours lancés dans le passé, dont la réception est prévue pour les périodes suivantes ( $Att_i^{>t}$ ). A cette somme, il faut retirer les ruptures à la fin de la période précédente ( $Rp_{i,t-1}$ ) (Figure 4.14). D'où :

$$NK_{i,t}^d = \bar{I}_{i,t-1} + Att_i^t + Att_i^{>t} - Rp_{i,t-1} \quad (4.4)$$

L'état souhaité par rapport à la contrainte « ENCOURS + STOCK » en fin de période  $t$  pour le produit  $i$  ( $NK_{i,t}^f$ ) est égal à la somme (i) du stock prévu au MTP ( $I_{i,t}^{MTP}$ ) (considéré comme un objectif, une quantité à avoir en stock à la fin de la période), (ii) des encours lancés dans le passé, dont la réception est prévue pour les périodes suivantes ( $Att_i^{>t}$ ) et (iii) des lancements prévus de lancer pendant la période dont la réception serait prévue pour les périodes suivantes (Figure 4.14).

La partie des lancements planifiés normalement en cours à la fin de la période dépend du délai d'obtention du produit  $i$  ( $l_i$ ). Si ce délai est supérieur à 1, tous les lancements de la période seront en en-cours. Si le délai est inférieur à 1, les lancements effectués en début de période seront terminés. Dans ce cas, comme par hypothèse, la production est répartie sur la période, le rapport entre le délai et la taille de la période donne la proportion des lancements qui seront en-cours. D'où une quantité lancée, normalement en cours à la fin de la période, égale au produit des lancements planifiés au PMT par le minimum entre 1 et le délai d'obtention de  $i$  intégrée dans la relation (4.5).

$$NK_{i,t}^f = I_{i,t}^{MTP} + Att_i^{>t} + \min(1; l_i) \times X_{i,t}^{MTP} \quad (4.5)$$

D'où un lancement souhaité sur la période en flux tiré qui dépend de la demande et de la variation d'en-cours :

$$XD_{i,t} = D_{i,t} + I_{i,t}^{MTP} + \min(1; l_i) \times X_{i,t}^{MTP} - \bar{I}_{i,t} - Att_i^t + Rp_{i,t-1} \quad (4.6)$$

L'équation (4.6) peut être ensuite généralisée pour tenir compte de la notion de rebut (cf éq. (4.17)).

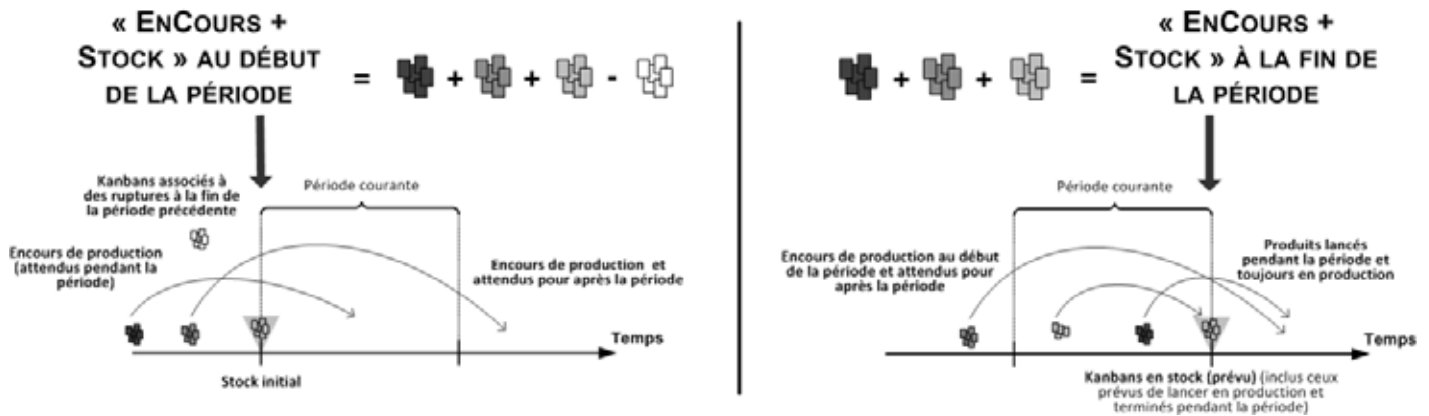


Figure 4.14: Variation du nombre de kanbans sur une période de temps

Ce calcul permet de montrer ce que l'agent souhaite lancer en production. Son lancement réel sera contraint par sa capacité réellement disponible.

#### Planification de la production possible compte tenu de la capacité réelle (A2) :

L'agent STP compare ensuite la charge relative aux ordres de fabrication souhaités sur la période à la capacité réellement disponible et en déduit les quantités que l'agent entreprise a pu lancer sur la période (éq. (4.18)). La capacité réellement disponible se déduit de la capacité accordée par l'agent SOP pour la période à laquelle est retiré un certain pourcentage fonction du taux de panne sur la période. L'aspect aléatoire est ici représenté au moyen d'un tirage du taux effectif de panne sur la base d'une loi normale avec moyenne et écart-type  $(N(m_{pa}; \sigma_{pa}))$ .

Dans l'équation (4.18),  $\beta_{i,t}$  est une fonction qui traduit deux phénomènes. D'une part, elle traduit la réduction de la capacité  $(Capa_t \times (1 - N(m_{pa}; \sigma_{pa})))$ . D'autre part, elle traduit l'application du comportement de « macro-ordonnancement » de l'agent pour la répartition de la capacité disponible (même comportement que celui utilisé par les agents SOP et MTP). Ceci permet de déterminer quels sont les OF pénalisés (non lancés ou quantité réduite) par l'agent STP lorsque la capacité réelle est inférieure à la charge associée aux lancements souhaités.

#### Planification des approvisionnements et passage de commandes (A3 et A4) :

Une fois la décision sur la quantité que l'acteur peut lancer en production compte tenu de son niveau de panne, l'agent STP doit, en contre partie, exprimer la demande en composants. A ce stade, trois choix sont possibles en fonction du comportement d'agent « *type d'approvisionnement* » avec ses fournisseurs :

- *protocole à la commande* (approvisionnement en flux poussé) : la demande en composant  $i$  de l'agent entreprise a été directement passée au moyen terme après le déroulement du calcul des besoins de son agent PMT (date de besoin anticipée du délai de livraison et prise en compte d'une taille de lot et d'un rebut d'approvisionnement). Il est alors possible d'exprimer la demande avec l'équation (4.20) ;
- *protocole tiré* (approvisionnement en flux tiré) : la demande en composant  $i$  de l'agent entreprise est calculée sur la même logique que la notion de flux tiré en production. Le réapprovisionnement souhaité sur la période est égal à la consommation de composant issue de la production possible plus la variation de la contrainte « ENCOURS + STOCK », c'est à dire la variation souhaitée de l'en-cours entre le début et la fin de la période. L'en-cours initial est donné par le stock initial et les attendus

(pour la période et celles d'après). L'en-cours final est déterminé par les niveaux de stock et de besoins planifiés par l'agent PMT<sup>1</sup>. La commande s'exprime alors suivant l'équation (4.21) ;

- *protocole VMI* (approvisionnement en VMI) : l'acteur client n'émet pas une valeur de demande mais trois : les deux quantités contractuelles négociées pour le produit sur la période (minimum  $D_{j,t}^{\min}$  et maximum  $D_{j,t}^{\max}$ ) ainsi que son besoin net à stock objectif nul (le besoin brut auquel sont retirés les besoins couverts par le stock de matières premières de l'agent, appelé besoin « vrai » et noté  $D_{j,t}^{\bar{s}}$ ), d'où l'équation (4.22).

La référence au protocole VMI fait appel à un comportement spécifique d'un agent entreprise fournisseur. En effet, l'équation (4.17) montre qu'il lui est indispensable (en production tiré) de connaître une et une seule valeur de demande<sup>2</sup> ( $D_{i,t}$ ). Lorsqu'il est un fournisseur de type VMI, l'agent fournisseur transforme le vecteur de demande qu'il a reçu (totaux sur les clients) en une seule valeur en introduisant un coefficient ( $\alpha$ ) de comportement vis à vis de l'intervalle [min ; max] (éq. (4.23)). Il s'agit du seul cas où une fonction « dispatch » STP apparaît<sup>3</sup>.

#### 2.1.2.4 Les processus opérationnels (2/2) : *Launch & Inventory Management (L&IM)*

Le L&IM répond à la question « qu'est-ce que l'agent a pu réellement produire et livrer sur la période en fonction des contraintes d'approvisionnement ? ». Son objectif est de réaliser le bilan des flux matière en calculant notamment les quantités réellement lancées en production et livrées à partir des stocks réels de composants (Figure 4.15). La Figure 4.16 détaille les deux activités de cette activité principale : la réalisation du bilan de production et de celui des livraisons.

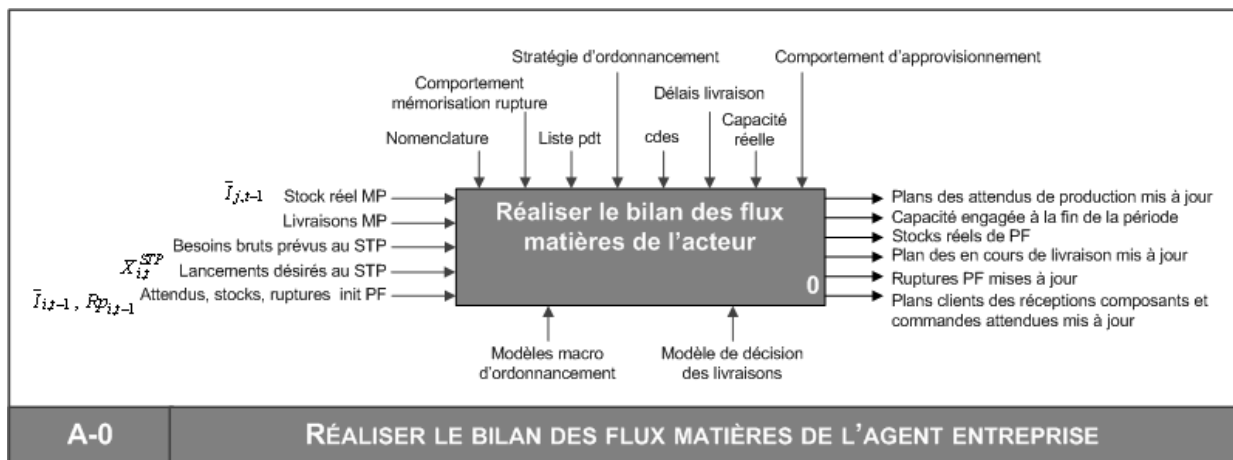


Figure 4.15: fonction principale de l'agent L&IM (agent (IV))

#### Bilan de production sur la période (A1) :

Du point de vue de la fonction production, il permet de tenir compte de la mise à jour du niveau de stock de matières premières et donc des aléas liés à des problèmes sur l'approvisionnement qui peuvent perturber voire même empêcher la production (éqs. (4.24) et (4.25)). L'agent conserve le comportement en terme de « *macro-ordonnancement* » utilisé par les agents SOP, MTP et STP afin d'assurer la cohérence globale de la décision de lancement en production. Celui-ci permet de

<sup>1</sup> Voir les explication sur la production en flux tiré au niveau de l'agent STP (A1) un peu plus haut. Le principe est identique

<sup>2</sup> Cette valeur lui est également indispensable pour savoir ce qu'il doit livrer (cf agent L&IM plus bas)

<sup>3</sup> Voir Figure 4.23 plus loin, lorsque le protocole VMI est présenté

prioriser l'utilisation des matières premières et donc de choisir, le cas échéant, quels sont les produits dont les productions ne peuvent pas être servies totalement ou partiellement.

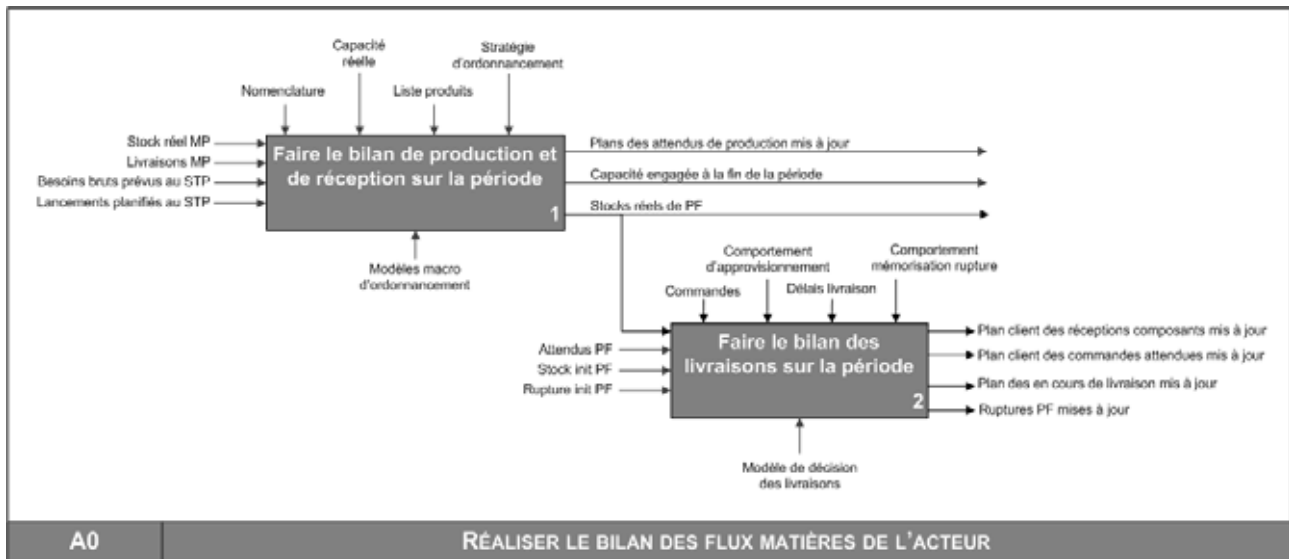


Figure 4.16: Décomposition des activités d'en agent L&IM (agent (IV))

En sortie de cette activité, le plan des attendus de production pour chaque produit ainsi que les stocks réels ont été mis à jour. L'agent connaît également la capacité réellement engagée à la fin de la période. Celle-ci représente la charge restante à terminer au cours de la période suivante. Les matières premières associées à ces besoins ne sont plus à gérer à la période suivante. Ils sont considérés comme « servis » et seulement en attente de traitement par l'atelier.

L'agent L&IM est en charge de la modélisation du flux physique réel. A ce titre, il représente donc l'apparition des aléas liés à la production (excepté les aléas de panne gérés par l'agent STP). Aujourd'hui, deux aléas de production sont possibles. Leur occurrence est fonction du résultat d'un tirage d'une loi binomiale ( $B(n,p)$  où  $n=1$  et  $p \in [0;1]$ ) :

- un *rebut de production* : l'hypothèse est que l'acteur ne se rend compte du rebut, s'il a lieu, qu'à la fin du cycle de production. Cela se traduit par un calcul de la quantité reçue directement à partir d'un tirage aléatoire d'une loi normale au bout du délai d'obtention (rebut caractérisé par une moyenne et un écart-type lorsqu'il apparaît) (éq. (4.25)) ;
- un *retard de production* : l'hypothèse est encore que l'acteur ne se rend compte du retard, s'il a lieu, qu'à la fin du cycle de production. Cela se traduit par un calcul du délai d'obtention à partir d'un tirage aléatoire d'une loi normale (retard caractérisé par une moyenne et un écart-type lorsqu'il apparaît) (éq. (4.25)).

#### Bilan sur les livraisons (A2) :

Enfin, le L&IM est également responsable de la représentation des décisions de livraisons. Comme nous l'avons vu plus haut, l'agent L&IM doit potentiellement faire face à trois situations relatives au type de demandes qu'il doit traiter : commande, tiré ou VMI.

Le principe général suivi par l'agent est le suivant. Soit il livre à chaque client la quantité demandée si son stock de produits finis le lui permet (en VMI, il conserve son comportement vis à vis de l'intervalle  $[min;max]$ ). Soit il ne livre qu'une partie au prorata ( $pr$ ) de ce que représente la quantité de produit  $i$  en stock ( $QS_{i,t}$ ) vis à vis de la demande totale reçue par l'acteur. La quantité

en stock ( $QS_{i,t}$ ) est égale à la somme de la quantité en stock au début de la période ( $\bar{I}_{i,t-1}$ ) et de la quantité reçue durant la période (réception de production  $RP_{i,t}$ ).

Globalement, l'agent cherche d'abord à satisfaire les besoins de ses clients VMI (vrai et min) puis les commandes en tiré et poussé indifféremment avant de chercher à compléter les stocks de clients VMI en fonction de son comportement vis à vis de l'intervalle  $[\min ; \max]$ . En mode tiré ou poussé, l'agent calcule le prorata suivant l'équation (4.26) puis la quantité à livrer au client C suivant l'équation (4.27). En VMI, trois proratas sont calculés suivant les formules données dans le Tableau 4.1. Le calcul des quantités à livrer est décrit par l'équation (4.28).

	$QS_{i,t} = 0$	$QS_{i,t} \leq D_{j,t}^{\bar{S}}$	$D_{j,t}^{\bar{S}} < QS_{i,t} \leq D_{j,t}^{\bar{S}} + D_{i,t}^{\min}$	$D_{j,t}^{\bar{S}} + D_{i,t}^{\min} < QS_{i,t} \leq D_{j,t}^{\bar{S}} + \alpha(D_{i,t}^{\max} - D_{i,t}^{\min})$	$D_{j,t}^{\bar{S}} + \alpha(D_{i,t}^{\max} - D_{i,t}^{\min}) < QS_{i,t}$
$pr_{i,t}^{\bar{S}}$	0	$QS_{i,t} / D_{i,t}^{\bar{S}}$	1	1	1
$pr_{i,t}^{\min}$	0	0	$(QS_{i,t} - D_{j,t}^{\bar{S}}) / D_{i,t}^{\min}$	1	1
$pr_{i,t}^{\alpha}$	0	0	0	$(QS_{i,t} - D_{j,t}^{\bar{S}} - D_{i,t}^{\min}) / \alpha(D_{i,t}^{\max} - D_{i,t}^{\min})$	1

**Tableau 4.1: Calcul des proratas sur les quantités à livrer en protocole VMI**

Deux aléas sur le flux de livraison sont modélisés comme ceux impactant le flux de production :

- un *rebut de livraison* : l'hypothèse est encore que l'acteur client ne se rend compte du rebut, s'il a lieu, qu'à la réception de la livraison. Cela se traduit par un calcul de la quantité reçue directement à partir d'un tirage aléatoire d'une loi normale au bout du délai de transport (rebut caractérisé par une moyenne et un écart-type lorsqu'il apparaît) (éq. (4.29)) ;
- un *retard de livraison* : l'hypothèse est aussi que l'acteur ne se rend compte du retard, s'il a lieu, qu'à la réception de la livraison. Cela se traduit par un calcul du délai de transport à partir d'un tirage aléatoire d'une loi normale (retard caractérisé par une moyenne et un écart-type lorsqu'il apparaît) (éq. (4.29)).

### 2.1.2.5 Bilan (équations du modèle)

Les modèles présentés dans ce chapitre ont eu pour but d'étendre les travaux de (Mahmoudi, 2006) et (Lamothe et al., 2007). A ce titre, bon nombre d'équations du modèle actuel proviennent du modèle initial développé dans la thèse de J. Mahmoudi (éqs. (4.7) à (4.10), (4.12) à (4.16), (4.19), (4.20), (4.26) et (4.27)). Les équations (4.11), (4.17), (4.18), (4.21), (4.24), (4.25) et (4.29) sont des généralisations du modèle initial liées à l'ajout du comportement de « *macro-ordonnancement* », des aléas de rebut et de retard de production et livraison et de la généralisation du flux tiré en livraison et production pour tenir compte de délais non nuls. Les équations (4.22), (4.23), (4.28) et celles du Tableau 4.1 ont été ajoutées au modèle pour intégrer la gestion du protocole VMI par les agents.

Le Tableau 4.2 résume les principaux modèles des différents processus de planification d'un acteur (colonnes 1 et 2). Chaque ligne de la colonne 1 fait référence à un ou plusieurs processus particulier de planification en différenciant les trois fonctions « Supply » (S.), « Production » (P.) et « Dispatch » (D.). Puis, pour chaque modèle, nous avons mis en avant le ou les principaux paramètres associés à ce que nous avons appelé plus tôt des comportements d'acteur (colonne 3) ainsi que la ou les équations principales qui le régissent (colonne 4).



Processus	Modèles des processus				N°
	Modèles	Paramètres de comportements d'agent		Principales équations	
<i>P. SOP, P. MTP</i>	Prévision de vente des produits	Type de prévisions	Interne	$F_{i,t}^p = F(\text{Historic demand for } i)$ with a function $F$ : Holt and Winters algorithm, simple, double smoothing	(4.7)
			Externe	$F_{i,t}^p = \sum \text{Forecasts transmitted for } i$	(4.8)
<i>P. SOP, P. MTP</i>	Calcul des besoins nets à capacité infinie	Niveau de couverture		$NR_{i,t}^p = \left\{ F_{i,t}^p - RP_{i,t} \times (1 - r_i) - I_{i,t-1}^p + SS_{i,t} \right\}^{TL_i}$	(4.9)
<i>P. SOP</i>	Définition du plan de capacité de production	Taux d'acceptation de la variation de capacité ( $\delta$ )		$CAPA_t = \text{capa} \left( \text{smooth\_1} \left( NR_{i,t}^{SOP} \right), \delta, CAPA_t^{-1} \right)$	(4.10)
<i>P. SOP, P. MTP</i>	Planification de la production et des plan de stockage par produit	Niveau de couverture par produit + choix type de lancement + macro-ordonnancement		$X_{i,t}^p = \text{smooth\_2} \left( NR_{i,t}^p, CAPA_t \right)$	(4.11)
				$I_{i,t}^p = I_{i,t-1}^p - F_{i,t}^p + RP_{i,t} + X_{i,t-l_i}^p \times (1 - r_i)$	(4.12)
				$GR_{j,t}^p = X_{i,t}^p \times BOM_{i,j}$	(4.13)
<i>S. SOP, S. MTP</i>	Planification des besoins d'approvisionnement et des plan de stockage des composants	Niveau de couverture par composant		$Y_{j,t}^p = \left\{ GR_{j,t}^p - RP_{j,t} \times (1 - r_j) - I_{j,t-1}^p + SS_{j,t} \right\}^{TL_j}$	(4.14)
				$I_{j,t}^p = I_{j,t-1}^p - GR_{j,t}^p + \left( RP_{j,t} + Y_{j,t-l_j}^p \right) \times (1 - r_j)$	(4.15)
<i>P. STP</i>	Calcul de la quantité de production souhaitée	Type de production	poussée	$XD_{i,t} = X_{i,t}^{MTP}$	(4.16)
			tirée	$XD_{i,t} = \min \left( 1; l_i \right) \times X_{i,t}^{MTP} - Att_i^t + \left( D_{i,t} + RP_{i,t-1} - \bar{I}_{i,t-1} + I_{i,t}^{MTP} \right) / (1 - r_i)$	(4.17)
	Calcul de la quantité de production admissible dans la capacité accordée et des besoins bruts de composants associés	Taux de pannes + macro-ordonnancement		$X_{i,t}^{STP} = \beta_{i,t} \left( XD_{i,t}; CAPA_t \right)$ $GR_{j,t}^{STP} = X_{i,t}^{STP} \times BOM_{i,j}$	(4.18) (4.19)
<i>S. STP</i>	Calcul des quantités à demander (commander)	Type de protocole	poussé	$D_{j,t} = Y_{j,t}^{MTP}$ (commande réalisée au MTP)	(4.20)
			tiré	$D_{j,t} = \min \left( 1; l_j \right) \times Y_{j,t}^{MTP} - Att_j^t + \left( GR_{j,t}^{STP} + I_{j,t}^{MTP} - \bar{I}_{j,t-1} \right) / (1 - r_j)$	(4.21)
			VMI	$D_{j,t} = \left( D_{j,t}^{\min}; D_{j,t}^{\max}; D_{j,t}^{\bar{s}} \right)$ avec $D_{j,t}^{\bar{s}} = \max \left( 0; GR_{j,t}^{STP} - \bar{I}_{j,t-1} \right)$	(4.22)
<i>D. STP</i>	Traitement du signal de demande VMI	Niveau de l'intervalle [min ;max] visé ( $\alpha$ )		$D_{j,t} = D_{j,t}^{\bar{s}} + (1 - \alpha) \times D_{j,t}^{\min} + \alpha \times D_{j,t}^{\max}$ avec $\alpha \in [0;1]$	(4.23)
<i>P. L&amp;IM</i>	Calcul de la quantité lancée en production	macro-ordonnancement		$X_{i,t}^{L\&IM} = \text{macro} \left( X_{i,t}^{STP}; QL_{j,t} + \bar{I}_{j,t-1}; BOM_{i,j} \right)$	(4.24)
	Bilan des réceptions de production	Rebut et retard moyen / écart-type + chance occurrence rebut et retard		$RP_{i,t+L_i} = X_{i,t}^{L\&IM} \times \left( 1 - B \left( 1; e_r^p \right) \times N \left( m_r^p; \sigma_r^p \right) \right)$ avec $L_i = l_i + B \left( 1; e_d^p \right) \times N \left( m_d^p; \sigma_d^p \right)$	(4.25)
<i>D. L&amp;IM</i>	Calcul des quantités livrables (prorata)	Type de protocole	non VMI	$pr_{i,t} = \min \left( D_{i,t} + I_{i,t}^-; RP_{i,t} + \bar{I}_{i,t} \right) / \left( D_{i,t} + I_{i,t}^- \right)$	(4.26)
			VMI	voir Tableau 4.1	
	Calcul des quantités livrées à chaque client (C)	Type de protocole	non VMI	$QL_{i,t}^C = pr_{i,t} \times \left( D_{i,t}^C + I_{i,t}^{-,C} \right)$	(4.27)
			VMI	$QL_{i,t}^C = pr_{i,t}^{\bar{s}} \times D_{i,t}^{real,C} + pr_{i,t}^{\min} \times D_{i,t}^{\min,C} + pr_{i,t}^{\alpha} \times \alpha \left( D_{i,t}^{\max,C} + D_{i,t}^{\min,C} \right)$	(4.28)
	Bilan des livraisons (le i de l'acteur devient un j pour l'acteur client)	Rebut et retard moyen / écart-type + chance occurrence rebut et retard		$RL_j^{t+L_j} = QL_{j,t}^C \times \left( 1 - B \left( 1; e_r^l \right) \times N \left( m_r^l; \sigma_r^l \right) \right)$ avec $L_j = l_j + B \left( 1; e_d^l \right) \times N \left( m_d^l; \sigma_d^l \right)$	(4.29)

Tableau 4.2: Détails des équations des modèles (d'après (Mahmoudi, 2006) et (Marquès et al., 2009c))

### 2.1.3 Les protocoles de collaboration

Dans le modèle représentatif de LogiRisk, la notion de protocole de collaboration traduit la manière avec laquelle sont reliés les agents entreprises (et par la même les agents de planification présentés dans la section précédente). Plusieurs éléments permettent de décrire un protocole dans le modèle :

- le comportement « *type de prévision* » : Il traduit l'échange ou non de prévisions entre un agent acteur et ses agents clients suivant qu'il planifie sur la base de prévisions *internes* ou *externes* ;
- le comportement « *type d'approvisionnement* » : il porte sur le type d'accord mis en place entre deux acteurs et les modalités de la transmission d'une commande d'un agent client vers un agent fournisseur. Dans la version actuelle du modèle, chaque commande est caractérisée par au moins une référence de produit et une quantité associée. Les types d'accords se différencient surtout vis à vis du processus de l'acteur client qui émet la demande. Ainsi, le modèle permet aujourd'hui de représenter quatre types d'accords :
  - *flux poussé* (commande) ;
  - *flux tiré* ;
  - *engagement d'approvisionnement* (engagement sur approvisionnement) ;
  - *VMI* (Gestion Partagée des Approvisionnements)

#### 2.1.3.1 Protocole *flux poussé*

L'agent client passe des commandes à moyen terme. Les quantités commandées ( $D_{j,t}$ ) sont calculées par l'agent MTP de l'agent client (Figure 4.17) en étant anticipées du délai de livraison ( $l_j$ ) ;

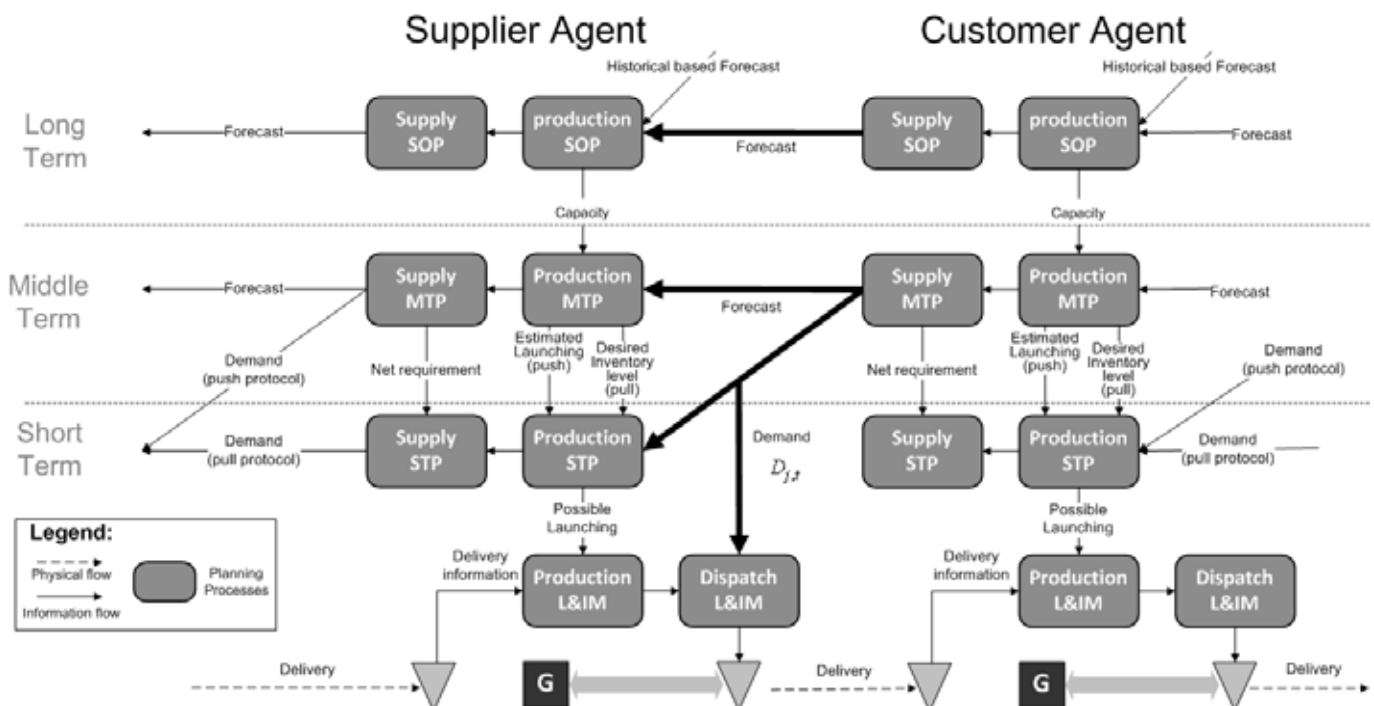


Figure 4.17: Représentation d'un protocole de type « poussé » ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006))

### 2.1.3.2 Protocole tiré

L'agent client passe des commandes à court terme. Les quantités commandées sont générées sur la base du besoin court terme exprimé par l'agent STP (Figure 4.18).

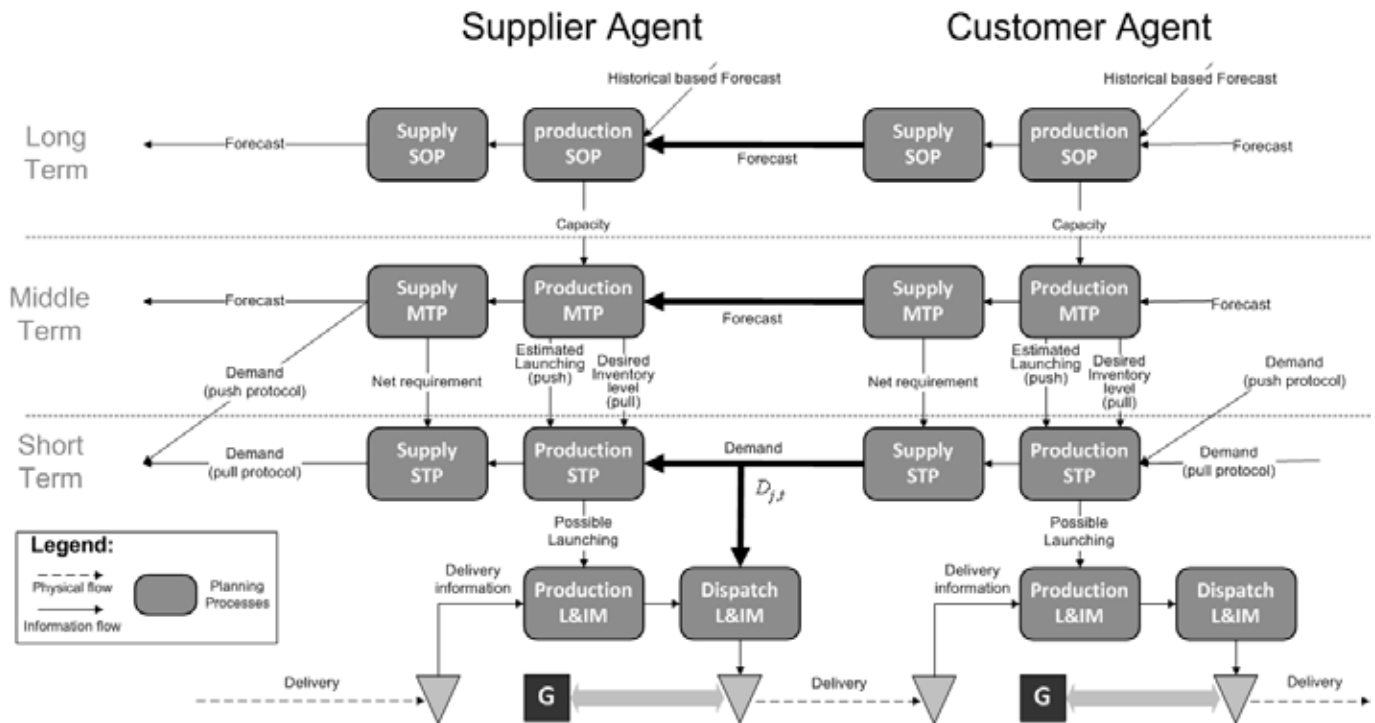


Figure 4.18: Représentation d'un protocole de type « tiré » ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006))

### 2.1.3.3 Protocole engagement d'approvisionnement<sup>1</sup>

Le protocole engagement d'approvisionnement a été décrit plus en détails au chapitre 1. La Figure 4.19 illustre l'implémentation des processus liés au protocole *engagement d'approvisionnement* au sein des autres processus de planification des différents agents. Pour rappel, il s'agit d'un engagement d'approvisionnement de la part du client sur le long terme (flèche « engagement » sur la Figure 4.19). Les appels à court terme de livraisons sont calculés par l'agent STP (fonction supply) sur la base du calcul des besoins moyen terme (agent MTP) (« flèche appels de livraison »).

Le principe « d'affermissement » d'un engagement d'approvisionnement est illustré par la Figure 4.20 pour un segment composé de trois références. Dans la réalité, ce type d'accord est fortement lié à des problématiques de gestion des achats avec négociation de prix en fonction des quantités commandées. La mise en place de ce type de protocole se traduit dans le modèle par un comportement spécifique de l'agent SOP de l'agent client (fonction « supply »). Dans ce cas, il ne réalise plus un simple calcul des besoins. Il fait un bilan de ses besoins nets de MP qu'il compare aux engagements déjà passés (besoins déjà couverts) et réalise un nouvel engagement par segment pour les besoins non couverts. L'affermissement d'un engagement est basé sur le principe suivant (détaillé dans la Figure 4.21) : à chaque période de l'horizon, l'agent affermit le besoin de chaque référence (prise par ordre de priorité) jusqu'à atteindre la quantité minimum négociée pour le segment. Comme ce calcul est effectué à une certaine périodicité, l'agent intègre aussi une notion d'Horizon Limite (HL) à l'intérieur duquel tout besoin est affermi, et ce, même

<sup>1</sup> Pour rappel, le principe de fonctionnement de ce protocole a été présenté dans le chapitre 1

si cela dépasse le minimum (la condition d'arrêt ne s'applique qu'au bout de cet horizon). Ceci permet d'éviter les ruptures entre deux engagements d'approvisionnement.

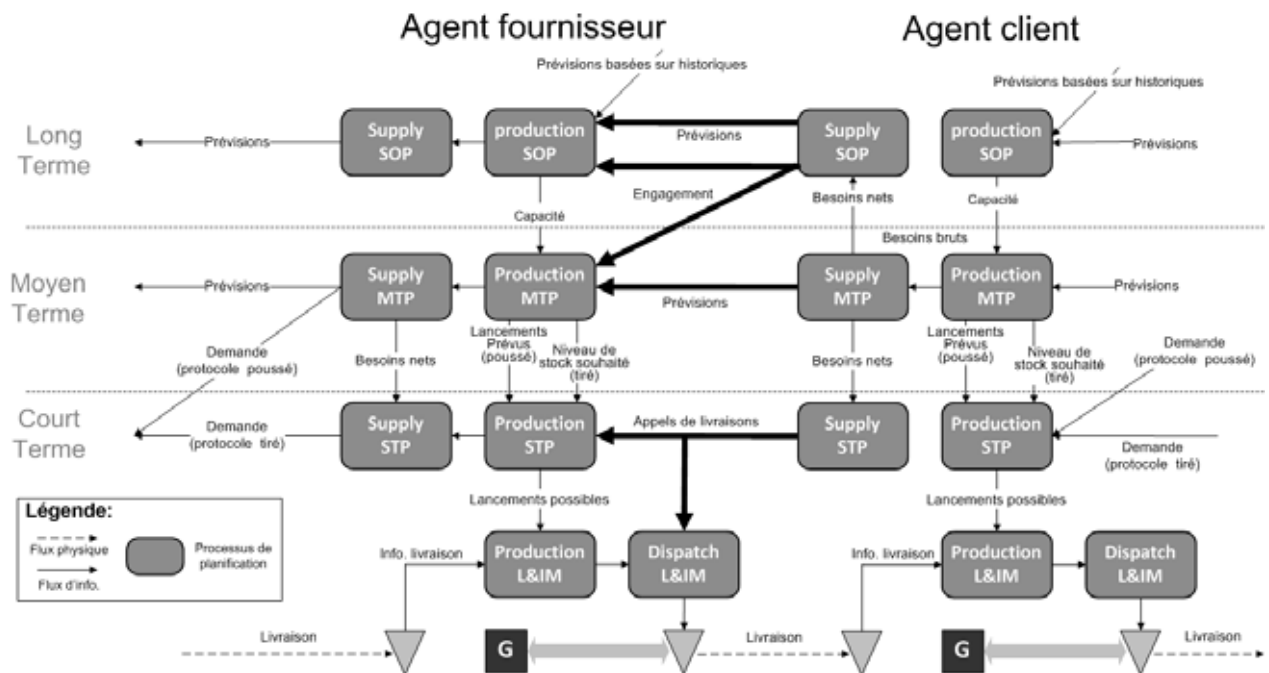


Figure 4.19: Représentation d'un protocole de type *plan d'approvisionnement*

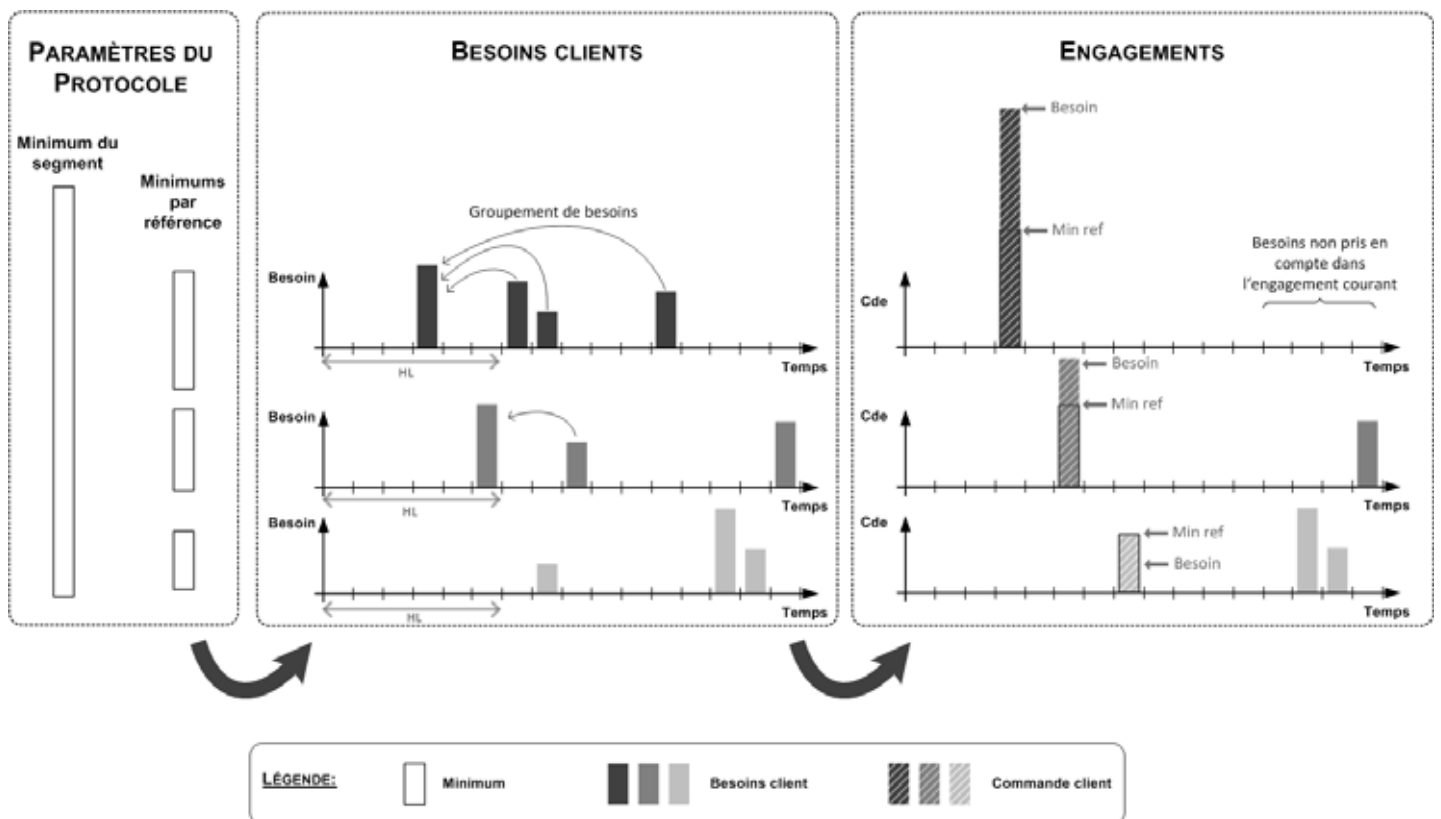


Figure 4.20: Principe d'affermissement d'un engagement

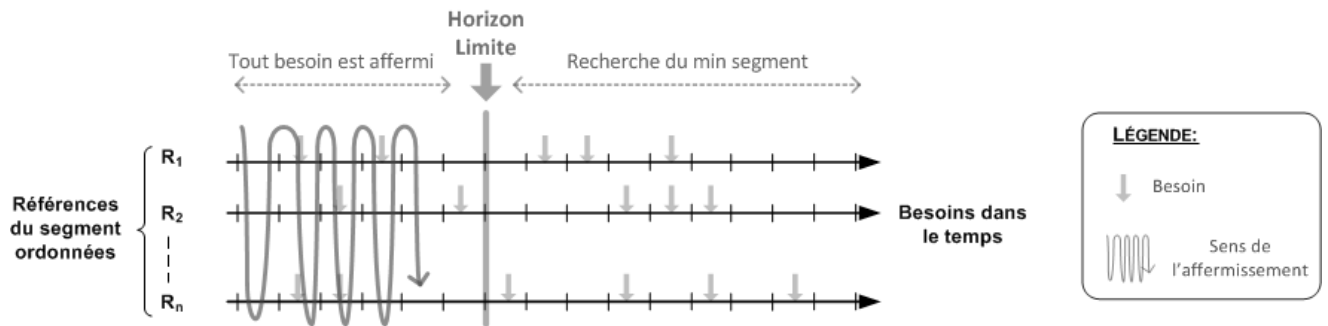


Figure 4.21: Déroulement du calcul d'affermissement d'un engagement d'approvisionnement

### 2.1.3.4 Protocole VMI

En accord avec ce qui a été présenté sur ce protocole particulier au chapitre 1, l'agent client émet, à court terme, un signal de demande composé de trois informations (min, max, besoin vrai). La détermination de l'intervalle min/max fait l'objet d'un processus particulier : le « Logistical Agreement » (LA). Celui-ci est porté par un agent LA. L'objectif de celui-ci est de fournir aux deux agents impliqués (client et fournisseur) les niveaux minimum et maximum de stock pour chaque période de l'horizon et chaque produit (Figure 4.22).

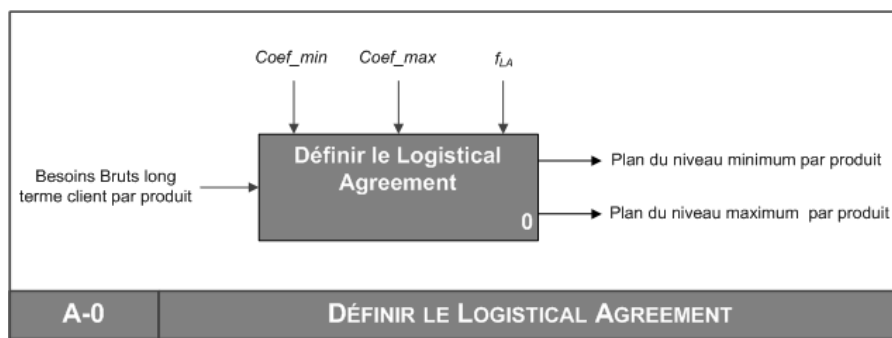


Figure 4.22: Fonction principale d'un agent LA

Les paramètres associés sont la *fréquence* de calcul des niveaux minimum et maximum ( $f_{LA}$ ) ainsi que les *coefficients* à appliquer pour déterminer chacun de ces niveaux ( $Nb_j^{\min}, Nb_j^{\max}$ ). Le calcul repose aujourd'hui sur les besoins bruts long terme de l'agent client ( $GR_{j,t}^{SOP}$ ). Le modèle actuel représente donc un VMI contrôlé par le client. Les coefficients min et max peuvent être assimilés à un niveau de couverture souhaité, d'où le calcul des plans des niveaux min et max pour le composant  $j$  établi à la période  $t$  (respectivement  $VMI\_min_{j,t}$  et  $VMI\_max_{j,t}$ ) à partir du modèle de la fonction couverture ( $couv()$ ) définie en Annexe 4 :

$$\begin{aligned} VMI\_min_{j,t} &= cov\left(GR_{j,t}^{SOP}; Nb_j^{\min}\right) \\ VMI\_max_{j,t} &= cov\left(GR_{j,t}^{SOP}; Nb_j^{\max}\right) \end{aligned} \quad (4.30)$$

Même s'il est contractuellement engagé à maintenir le stock de son client entre les valeurs minimale et maximale, le fournisseur peut avoir intérêt à viser un niveau de stock compris entre ces niveaux minimum et maximum. La définition de ce niveau visé est indispensable au déroulement de tous les processus de planification du modèle qui ne sauraient gérer la notion d'intervalle. Afin d'assurer la cohérence du comportement de planification global de l'acteur fournisseur, celui-ci intègre à tous les horizons (agents SOP, MTP, STP, L&IM) la même *stratégie vis à vis de l'intervalle*. Cette stratégie est matérialisée par le coefficient  $\alpha$  (présenté avec la fonction

« dispatch » de l'agent STP). La valeur considérée pour chaque période  $t$  est égale à une quantité comprise entre la valeur du plan du niveau min à  $t$  et la valeur du plan de niveau max à  $t$  :

$$\alpha\_VMI_{j,t} = (1-\alpha) \times V(t, VMI\_min_{j,t}) + \alpha \times V(t, VMI\_max_{j,t}) \quad (4.31)$$

L'acteur client intègre également cette stratégie pour réaliser sa planification. Le processus LA occupe donc un rôle central dans le protocole *VMI*. Nous retrouvons ce rôle dans la Figure 4.23, où il « alimente » les différents agents de planifications des différents agents acteurs à partir des besoins bruts longs termes de l'agent client.

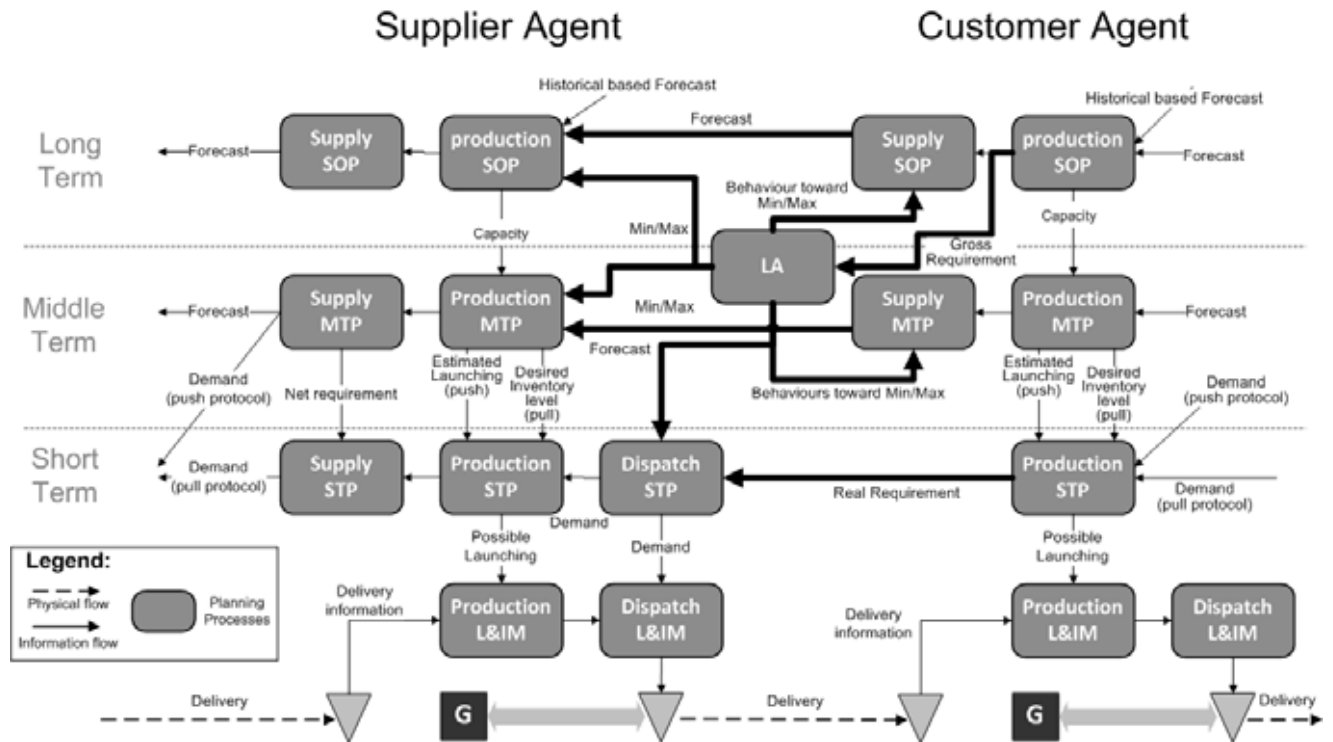


Figure 4.23: Représentation d'un protocole de type « VMI » (d'après (Marquès et al., 2008b, 2009c))

## 2.2 Les modèles amonts et avals

### 2.2.1 Agent amont

Le modèle LogiRisk du module amont est simple. Il considère que les acteurs de plus haut rang au cœur du modèle sont en relation avec un seul fournisseur « parfait ». Par parfait, nous entendons un fournisseur du fournisseur uniquement représenté par un délai de livraison. Dans le modèle, l'agent amont n'a jamais de problème de capacité, ni de retard, ni de rebut que cela soit en production ou en livraison. Par conséquent, les agents entreprises lui passent des commandes classiques et les reçoivent complètes au bout du délai de livraison.

### 2.2.2 Agent aval

Notre modélisation repose sur un unique agent aval. Son rôle est d'émettre, au cours du temps, des informations sur la demande (commandes et prévisions) vers ses agents fournisseurs (agents entreprise de plus bas rang dans le cœur de modèle). En pratique cela signifie que si les fonctions marketing et commerciales d'un fournisseur participent à la construction des prévisions, celles-ci sont modélisées à l'intérieur de l'agent aval. La modélisation du module aval dépend du positionnement de la limite aval de la chaîne modélisée :

- entre deux rangs d'acteurs : celui que l'on souhaite modéliser en détails et celui qui le précède (limite traditionnelle) ;
- entre deux fonctions d'un même acteur : certaines problématiques ne touchent pas l'acteur dans sa totalité. Par exemple, celui-ci a pu distinguer différents groupes de fournisseurs et l'analyse ne peut porter que sur un seul de ces groupes, n'impliquant alors qu'une partie réduite de ses processus de décision. Se pose dès lors la question de l'intérêt à modéliser l'acteur en détails. Ici, nous nous attacherons à analyser et présenter le cas où la limite se situe entre les fonctions approvisionnement (« supply ») et production (« production ») d'un même acteur.

Tout ce qui se situe en aval de cette limite est modélisé comme la « demande » vue par les processus de l'acteur du premier rang modélisé en détails. Pour chacun des produits associés à cette demande, l'agent aval émet deux types d'information : des commandes réelles et des prévisions. Tous les acteurs situés à l'intérieur de ce module ne sont pas différenciés. Cela comprend également les consommateurs finaux (traditionnellement appelé marché). Le tout est modélisé par un agent « aval ».

### 2.2.2.1 Limite Aval entre deux acteurs du système réel

Nous nous plaçons ici dans le cas où la limite aval se situe entre deux rangs d'acteurs. La Figure 4.24 permet de faire le bilan sur les informations que doit transmettre l'agent aval aux agents entreprise (cœur de modèle), en mettant volontairement en avant les entrées et sorties d'un agent entreprise (et en laissant les processus internes au second plan). Deux types d'information sont nécessaires à ces derniers, toutes les deux relatives à la demande reçue par l'agent entreprise : les commandes réelles (quantités) et les commandes prévisionnelles (plans). Dans cette partie nous nous proposons de décrire la modélisation des facteurs influençant la génération de ces informations.

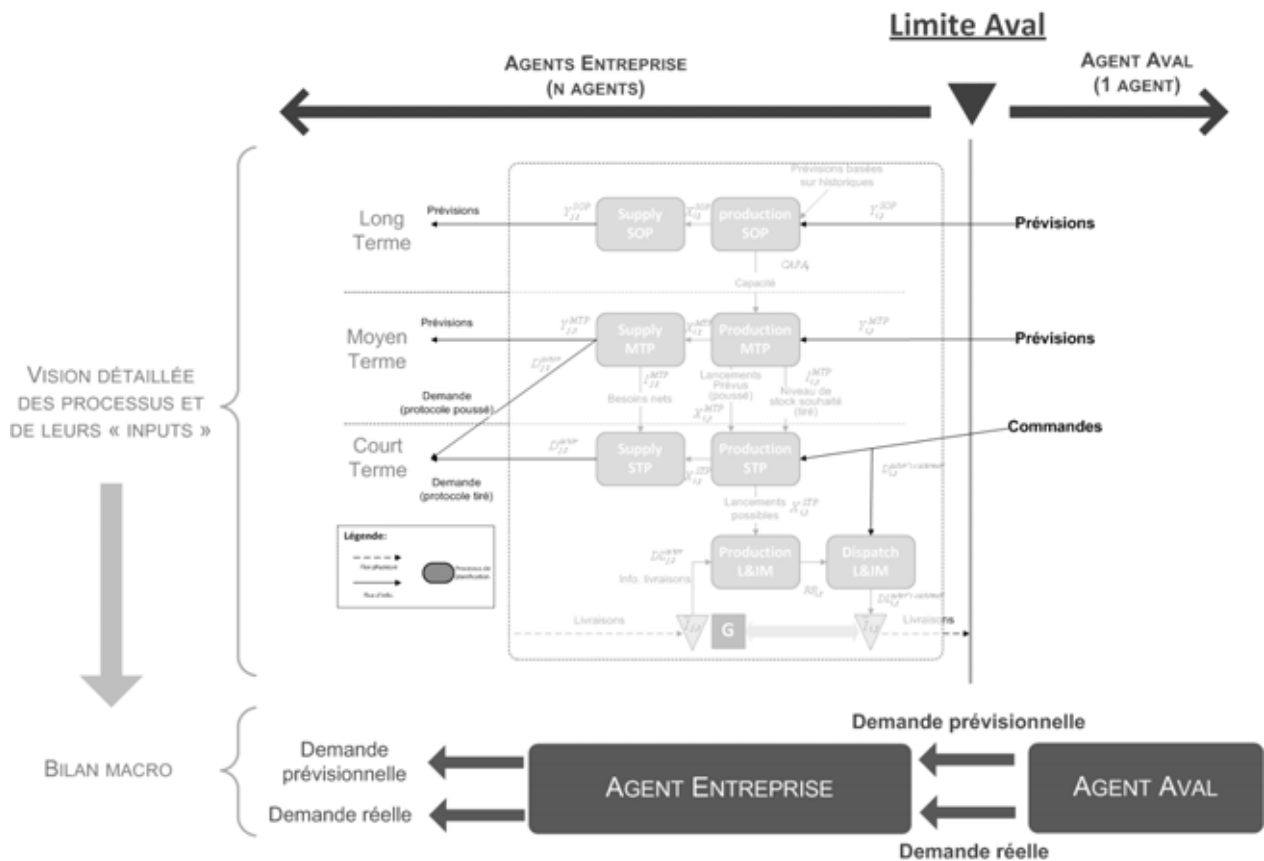


Figure 4.24: Bilan des « outputs » de l'agent aval (limite aval entre 2 acteurs du système réel)

Inspiré du contexte de l'industrie des télécommunications (Mahmoudi, 2006), le modèle aval de LogiRisk repose sur la volonté de pouvoir représenter le comportement de la demande au travers de certains éléments clés de la dynamique de son évolution. Ces éléments peuvent être classés en deux catégories suivant qu'ils touchent à l'aspect prévisionnel ou réel de la demande.

D'un point de vue prévisionnel, le comportement global de la demande peut être décrit par une succession de comportements sur des intervalles de temps successifs. Cette notion de comportements successifs traduit des changements brusques et non prévus à l'origine. Ainsi les acteurs qui croient à une certaine prévision de la demande, une demande stable par exemple, et qui s'organisent vis à vis de celle-ci, peuvent être soudainement confrontés à un changement important, comme une croissance ou décroissance forte. Ceci a été traduit par la gestion en parallèle et à tout instant par l'agent aval d'un vecteur de  $n$  plans prévisionnels, parmi lesquels un seul constitue la tendance réelle suivie par le marché. Le modèle de l'agent aval représente alors cette notion de changement de tendance en permettant le passage d'une prévision à une autre dans le temps pour définir cette tendance réelle suivie par la demande.

L'agent aval intègre aussi une notion de « croyance » pour définir à partir de quelle date un changement de tendance réel est découvert par les agents de la chaîne. Le but est d'analyser le comportement du système « chaîne logistique » face à cet « aléa ». L'hypothèse de base est que la tendance de la demande est identique pour tous les agents du cœur de modèle et que tous peuvent y avoir accès (à condition qu'ils soient sur le principe de prévisions externes). L'expression « tendance de la demande » réfère ici à la valeur connue de la demande et non à sa valeur réelle (biais introduit par la date du changement de croyance entre les deux). Chaque tendance, c'est à dire chaque prévision, est alors décrite au travers de différents éléments (Mahmoudi, 2006)<sup>1</sup> :

- une *croissance globale* : le terme croissance réfère ici au fait que les valeurs de la demande ont une évolution globale au cours du temps. Elles peuvent globalement rester stables, augmenter ou diminuer. Une manière de traduire cette réalité dans le modèle est d'ajouter la notion de croissance caractérisée par une loi normale avec croissance moyenne et croissance écart-type. Le passage à une loi normale plutôt qu'une constante permet de modéliser des croissances non régulières. La stabilité est ici décrite par une croissance moyenne nulle ;
- la *saisonnalité* : celle-ci a été vue comme une période de temps donnée et cyclique durant laquelle la valeur de la demande subie une identique modification (augmentation ou diminution). Pour cela, plusieurs traits de caractère d'une saisonnalité ont été dressés : la périodicité (période séparant deux saisonnalités), la date à laquelle elle se produit, la durée et le pourcentage d'augmentation qui s'applique pendant toute la durée de celle-ci ;
- la *date de changement* de tendance : elle permet de représenter la fin de la tendance courante et le passage à la suivante ;
- la *croyance* : le modèle distingue deux informations : la valeur du marché réel et ce que croient les agents entreprises de lui. Au moment du passage d'une tendance réelle à une autre, il faut pouvoir caractériser la date jusqu'à laquelle la tendance « crue » est considérée comme la prévision de la demande sur laquelle les agents vont baser leurs décisions. La notion de croyance modélise différentes situations : de celle où les acteurs connaissent le changement de tendance depuis le début, à celle où ils ne l'apprennent que bien longtemps après que le changement ait eu lieu. Deux exemples de connaissance de la demande induite par deux « dates de changement de croyance » différentes sont illustrés par la Figure 4.25. Dans cet exemple, deux

<sup>1</sup> Le principe de modélisation défini dans la thèse J. Mahmoudi est resté le même. Il a été néanmoins étendu pour permettre le passage de 2 à  $n$  tendances.



tendances réelles s'enchaînent (partie (1)). Dans la partie (2), trois cas de vision de cette tendance réelle sont illustrés (A, B, C). Dans le cas A, les acteurs croient à la prévision 1 (stable et à forte saisonnalité). Dans le cas B, ils découvrent à l'avance le passage à une seconde tendance (croissante, saisonnalités plus faibles mais plus rapprochées). Dans le cas C, le changement de tendance est connu en retard. Ce changement de connaissance de la demande a été traduit par un délai entre la date de changement de la tendance et la date à laquelle les acteurs apprennent effectivement le changement de tendance. La partie (3) illustre la demande réelle reçue par les agents (calculée comme une variation autour de la prévision).

Du point de vue de la demande réelle, le modèle intègre le phénomène d'écart entre les prévisions et les commandes réelles. La demande réelle est modélisée comme un bruit blanc sans biais autour de la tendance réelle. Là encore, une loi normale a été utilisée pour interpréter la réalité. La moyenne est définie par la valeur de la tendance, et l'écart-type modélise l'erreur de prévision.

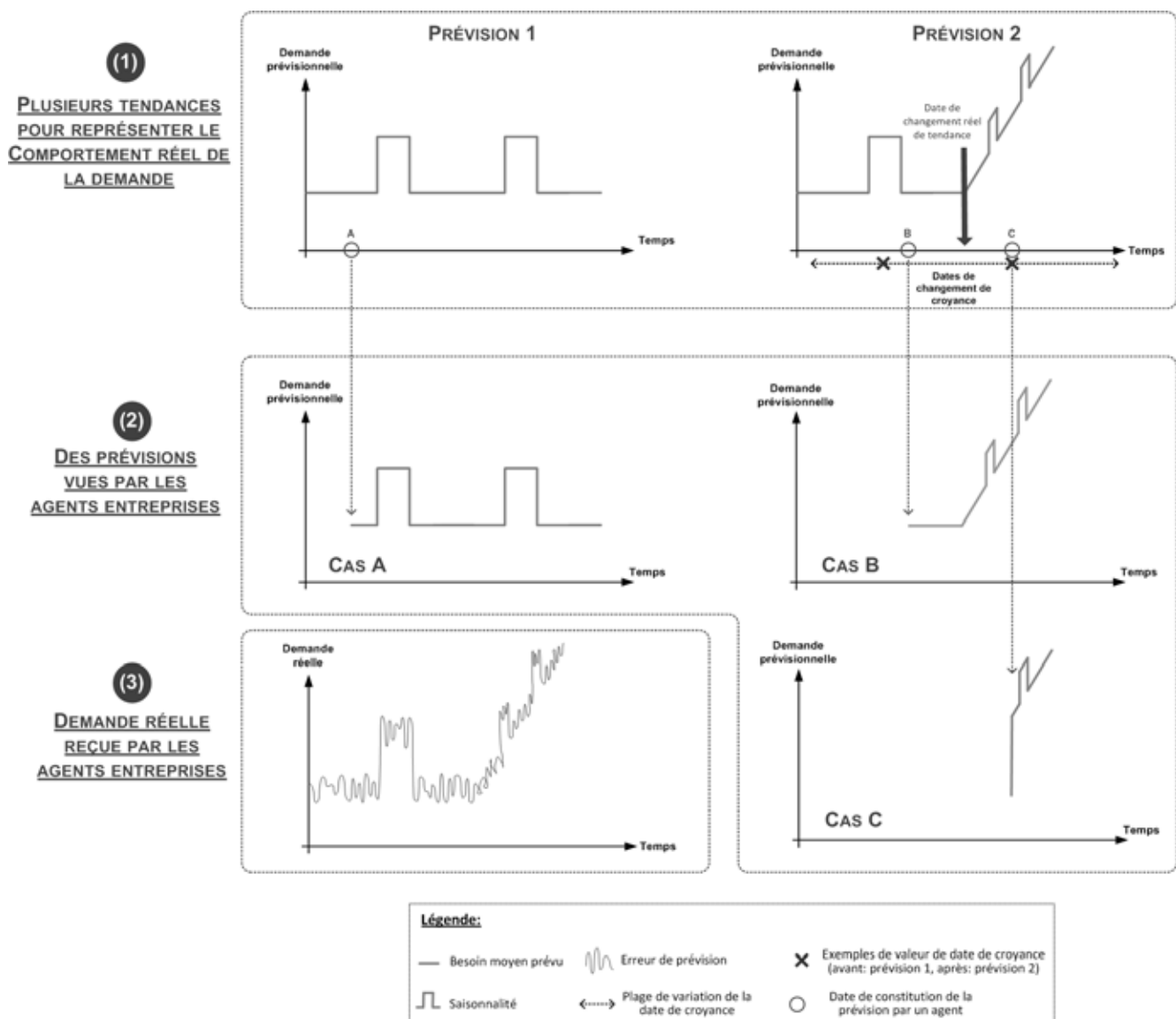


Figure 4.25: Représentation du comportement réel de la demande et de son interprétation par les agents

### 2.2.2.2 Limite aval entre les fonctions « supply » et « production » d'un même acteur :

Nous nous plaçons ici dans le cas où la limite aval se situe entre deux fonctions d'un acteur.

#### Principe de modélisation :

Dans ce cas, deux types d'information sont nécessaires, toutes les deux relatives aux besoins en Matières Premières (MP) liés aux décisions de production : les besoins bruts réels à court terme (quantités) et les besoins bruts prévisionnels à moyen et long terme (plans) (Figure 4.26). Cette partie aborde la question de la génération de ces informations et surtout de leur évolution dans le temps, et identifie par conséquent un double objectif :

- caractériser le modèle qui permet de générer le plan de départ : il s'agit de l'aspect « statique », en d'autres termes, créer le plan initial ;
- identifier les facteurs, les paramètres, qui influent sur l'évolution dans le temps des valeurs du plan. Il s'agit de caractériser la dynamique des besoins bruts dans le temps et d'en établir un modèle agrégé, c'est à dire identifier les sources de perturbations d'un plan de besoins bruts (ou d'un besoin brut réel) entre deux dates de révision de celui-ci.

Le modèle de l'agent aval repose sur une représentation stochastique de l'ensemble des perturbations d'un plan de besoins bruts. Il ne représente pas tous les processus, décisions et aléas de manière détaillée mais utilise des lois de probabilité qui nous permettent de caractériser la démarche comme une technique d'abstraction de type « determinist to stochastic ».

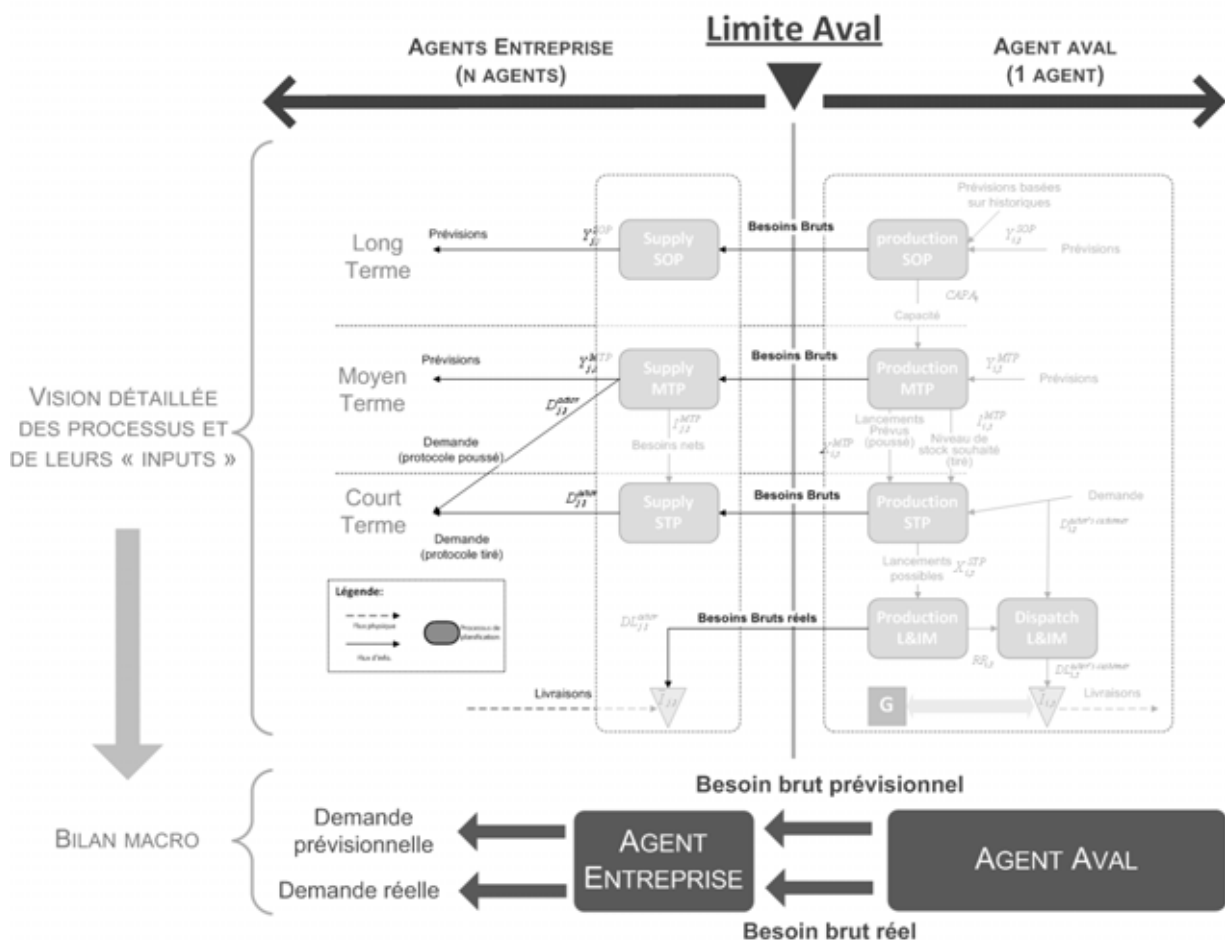


Figure 4.26: Bilan des « outputs » du module aval (limite aval entre les fonctions « supply » et « production » d'un acteur du système réel)

La modélisation réalisée du module aval dans cette situation repose sur l'hypothèse que les processus de planification de l'acteur suivent globalement une démarche de type MRPII. Ce processus est vu de manière agrégée. En accord avec le modèle classique d'un agent entreprise, quatre horizons de planification ont été différenciés : Long Term (LT), Moyen Terme (MT), Court Terme (CT) et Très Court Terme (TCT), respectivement au même niveau que les agents SOP, MTP, STP et L&IM.

Dans toute la suite, nous utiliserons les notations définies auparavant et notamment la notion de plan de besoins bruts de MP  $j$  établi à la date  $t$  :  $GR_{j,t}$ . Ce plan prévisionnel de besoins est caractérisé par un horizon de planification  $T$ . A chaque période  $p$  ( $\in [1 ; T]$ ) de ce plan est associée une valeur de besoin notée :  $gr_j^t(p)$ . Le besoin brut réel associé à la date  $t$  sera lui noté :  $Rgr_j(t)$ .

#### Génération du plan initial (statique) :

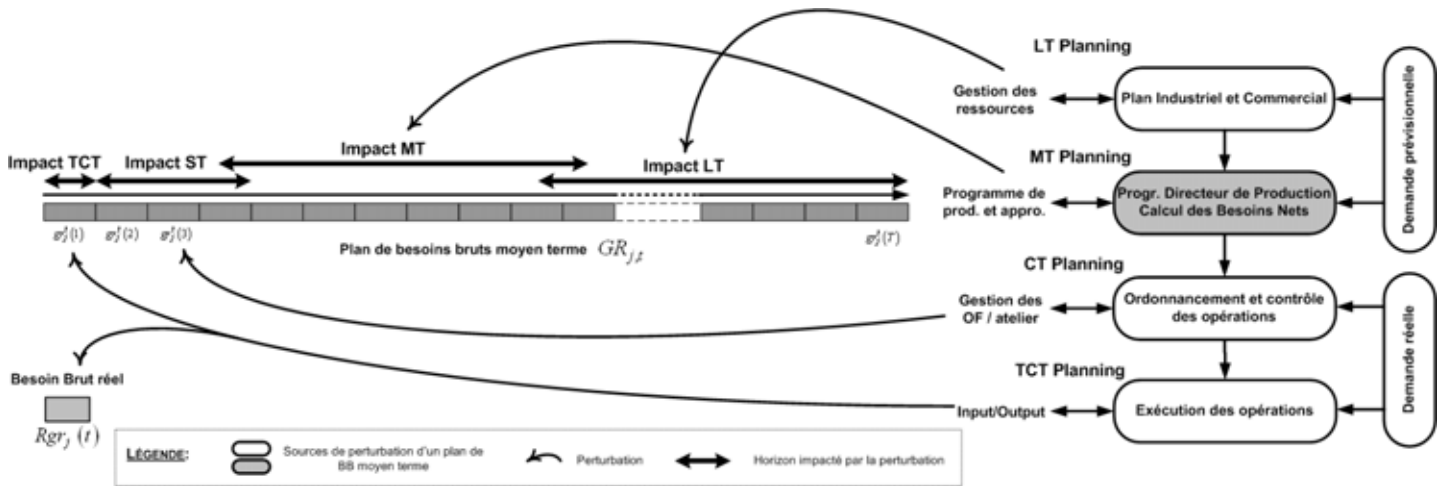
Du point de vue de la génération « statique » d'un plan, le modèle intègre les mêmes paramètres que ceux utilisés pour la génération de la demande dans le cas où la limite aval est entre deux acteurs. Il intègre également l'aspect multi-tendances développé auparavant. Alors que les besoins d'un « marché » peuvent être supposés continus dans le temps, il n'en est pas de même pour les besoins en matières premières du fait de la transformation par les processus de planification d'un acteur. Nous supposons ici une certaine périodicité du besoin en Matières Premières (MP). Le modèle de l'agent aval doit donc également connaître la période moyenne séparant deux besoins. Une fois le plan de besoins bruts généré (besoin moyen + période moyenne + saisonnalité), plusieurs lois binomiales<sup>1</sup> permettent de déterminer si un besoin est décalé d'une ou deux périodes élémentaires et le sens de ce décalage (anticipé ou retardé), ceci afin d'éviter une périodicité du besoin identique sur tout l'horizon.

#### Identification des perturbations (dynamique) :

Du point de vue de la génération de la « dynamique » d'un plan, il s'agit d'identifier les différentes sources de perturbation des valeurs à l'intérieur de celui-ci entre deux périodes de révision. Toutes les décisions prises par un acteur aux différents horizons ainsi que tous les aléas qu'il subit n'influent pas sur les mêmes parties d'un plan de besoins bruts moyen terme. La première question est donc relative à la question du « où ? » qui est à mettre en relation avec la question du « qui ? ». Nous parlerons ici d'horizon impacté par une décision ou un aléa. Cet horizon définit un intervalle dans le plan à l'intérieur duquel la décision ou l'aléa peut modifier la valeur des besoins bruts (réels ou prévisionnels). Nous reviendrons un peu plus loin sur les natures possibles de ces modifications qui sont du ressort de la question du « comment ? ». Nous parlerons également de sources de perturbations pour représenter de manière macroscopique tout processus de décision ou aléas à l'origine de la perturbation.

Dans la Figure 4.27, nous avons résumé les grandes catégories de perturbations possibles d'un plan de besoins bruts moyen terme. Les différents processus de planification ont un impact direct. Nous faisons l'hypothèse que la zone d'impact des décisions d'un processus de planification suit globalement l'horizon de planification auquel il appartient (LT, MT, CT, TCT avec chevauchement(s) autorisé(s)). En ce qui concerne les aléas liés à la demande, l'hypothèse est faite qu'ils sont retranscrits indirectement au travers des différents calculs des besoins aux différents horizons.

<sup>1</sup> La chance d'occurrence » ( $\in [0 ; 1]$ ) d'un événement est une notion exprimable assez naturellement par les décideurs (experts)



**Figure 4.27: Impact des sources de perturbation d'un plan de besoins bruts moyen terme et horizons associés (Marquès et al., 2010c)**

#### Caractérisation des perturbations (dynamique) :

Les différentes familles de sources de perturbation étant définies, il s'agit désormais de modéliser l'influence de chacune d'elles. Le Tableau 4.3 et le Tableau 4.4 résument les différentes perturbations possibles d'un plan de besoins bruts. Chaque décision ou événement à l'origine de la perturbation est associé à un horizon d'impact (LT, MT, CT, TCT) (colonne 1). L'impact a été caractérisé par deux types d'influence : des « *mouvements* » dans le temps ou des « *modifications* » de quantité. Ces deux catégories ne sont pas mutuellement exclusives et peuvent être respectivement détaillées en « *anticipation* » ou « *retard* » et « *augmentation* » ou « *diminution* » (colonne 4). Notre étude montre également le rôle de la stratégie de production (poussé/tiré) dans l'apparition ou non de ces perturbations et sur les conséquences associées (colonne 3). Chaque source de perturbation est caractérisée (colonne 5) et une figure illustre l'impact sur le plan de besoins bruts (colonne 6).

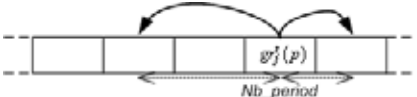
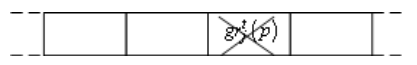
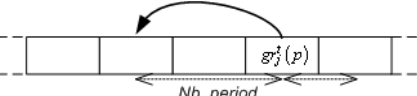
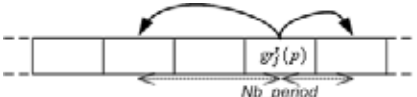
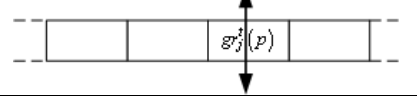

IDENTIFICATION DES DECISIONS ET DES EVENEMENTS					CARACTERISATION			
Horizon	Décisions / Aléas	Stratégie Production		Type d'impact sur le plan de besoins bruts à la date courante $GR_{j,t}$	Attributs			Illustration (mvts dans le plan de bb)
		Push	Pull		Probabilité d'occurrence	Quantité (+/-) (stochastique)	Nb périodes (+/-) (Stochastique )	
LT	Ajustement de capacité	×	×	Pas d'impact				
LT	Lissage	×	×	Mouvement de besoins $gr_j^t(p)$ dans l'horizon	×	quantité lissée	direction et amplitude	
LT	Sous-traitance de prod. et d'appro.	×	×	Diminution de besoins $gr_j^t(p)$ à une période	×	quantité sous-traitée		
LT	Sous-traitance de prod.	×	×	Anticipation de besoins $gr_j^t(p)$ dans l'horizon	×	quantité sous-traitée	amplitude	
LT,MT	Variation de la demande future	×	×	Mouvement de besoins $gr_j^t(p)$ dans l'horizon	×	quantité déplacée	direction et amplitude	
		×	×	Modification de la quantité de besoins $gr_j^t(p)$	×	type ( $\nearrow$ ou $\searrow$ ) et amplitude		
CT	Ordonnancement	×		Mouvement de besoins $gr_j^t(p)$ dans l'horizon court terme	×	quantité déplacée	direction et amplitude	

Tableau 4.3: identification et caractérisation des impacts LT, MT et CT (Marquès et al., 2010c)

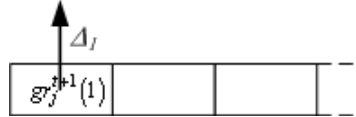

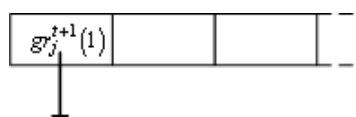
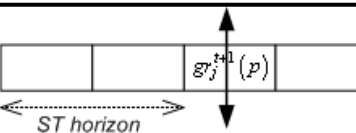
IDENTIFICATION DES DECISIONS ET DES EVENEMENTS					CARACTERISATION			
Horizon	Décisions / Aléas	Stratégie Production		Type d'impact sur le prochain plan de besoins bruts $GR_{j,t+1}$ et sur le besoin brut réel $Rgr_j(t)$	Attributs			Illustration (mvts dans le plan de bb)
		Push	Pull		Probabilité d'occurrence	Quantité (+/-) (stochastique)	Nb périodes (+/-) (Stochastique)	
TCT	Panne	×	×	Diminution du bb réel $Rgr_j(t)$ Augmentation du besoin $GR_{j,t+1}$	×	type ( $\nearrow$ ou $\searrow$ ) et amplitude		
TCT	Rebut	×	×	Augmentation du bb réel $Rgr_j(t)$ Augmentation du besoin $GR_{j,t+1}$	×	type ( $\nearrow$ ou $\searrow$ ) et amplitude		
TCT, CT	Anticipation urgente	×	×	Augmentation du bb réel $Rgr_j(t)$ Diminution du besoin $gr_j^{t+1}(t-1)$	×	type ( $\nearrow$ ou $\searrow$ ) et amplitude		
TCT	dde réelle différente de la dde planifiée	×		Pas d'impact sur le bb réel Modification de la quantité $gr_j^{t+1}(t)$	×	type ( $\nearrow$ ou $\searrow$ ) et amplitude		
			×	Modification du bb réel $Rgr_j(t)$ Pas d'impact sur le plan de bb $GR_{j,t+1}$	×	type ( $\nearrow$ ou $\searrow$ ) et amplitude		

Tableau 4.4: Identification et caractérisation des impacts TCT (Marquès et al., 2010c)

### Long Terme (LT) :

Du point de vue de l'horizon LT, certaines décisions peuvent affecter un plan de besoins bruts. Ces décisions concernent la gestion des ressources de production. Trois perturbations ont été identifiées :

- *Ajustement de la capacité* : cette stratégie est relative à la pratique qui porte parfois le nom de « chasing » en anglais. Elle consiste à ajuster la capacité à la demande. Dans ce cas, il n'y a pas de perturbation du plan de besoins bruts ;
- *Lissage* : le lissage de capacité peut être traduit par un mouvement de besoins dans le temps dans l'horizon LT. Chacun de ces mouvements peut être décrit au travers de trois attributs : une *direction* (anticipation ou retard), une *amplitude*, c'est à dire un nombre de semaines sur lequel le mouvement s'effectue et une *quantité* lissée ;
- *Sous-traitance* : deux décisions de sous-traitance ont été différenciées :
  - la sous-traitance de production et d'approvisionnement, où l'approvisionnement en MP est à la charge de celui qui obtient le contrat de sous-traitance. Une telle décision est caractérisée par une diminution du besoin brut à une certaine date ; diminution dont l'amplitude est égale à la quantité sous-traitée ;
  - la sous-traitance de production uniquement, où l'approvisionnement en MP reste à la charge du client (au sens émetteur du besoin). Nous faisons ici l'hypothèse que le processus d'approvisionnement doit être anticipé pour refléter l'allongement des délais induits par la procédure de sous-traitance. Cette décision se traduit dès lors par une anticipation de besoins dans le temps. Les attributs sont identiques à ceux du lissage excepté pour la direction où seule l'anticipation est possible.

### Moyen Terme (MT) :

L'horizon MT intègre des perturbations liées au comportement de la demande future. Deux types de variations non exclusives ont été identifiées :

- une *variation de la date de la demande*. Cet aléa se traduit par un mouvement dans le temps d'une partie ou de tout un besoin (attributs similaires à la décision de lissage) ;
- une *variation de la quantité de la demande*. Cet aléa implique une modification de la quantité du besoin. Les attributs associés sont le *sens* de modification (augmentation ou diminution) et l'*amplitude* (quantité ajoutée ou enlevée).

### Court Terme (CT) :

A horizon CT, nous avons cherché à caractériser l'impact des décisions d'*ordonnancement*. Ce genre de décisions ne peuvent avoir lieu que dans un environnement de production de type « flux poussé ». Elles engendrent des mouvements d'ordres de fabrication dans le temps. Du fait du lien de nomenclature existant entre produits finis et MP, ces mouvements se répercutent directement sur le plan de besoins bruts de MP. Les attributs sont identiques à la décision de lissage (direction, amplitude et quantité).

### Très Court Terme (TCT) :

En fonctionnement nominal, le besoin brut réel ( $R_{gr_j}(t)$ ) est égal à la valeur de la première période du plan de besoins bruts planifiés ( $gr_j^p(1)$ ). L'horizon TCT est cependant le siège de nombreux aléas qui ont des conséquences sur ce dernier. Ces aléas perturbent le déroulement du flux physique entre deux dates (la date courante  $t$  et la prochaine  $t+1$ ). Dans ce cas, la

perturbation engendrée sur le plan prévisionnel de besoins bruts ne sera pas « visible » à la date courante mais à la prochaine. Les perturbations TCT n'influent donc pas le plan à  $t$  ( $GR_{j,t}$ ) mais sur le plan à  $t+1$  ( $GR_{j,t+1}$ ). Quatre aléas différents non exclusifs ont été identifiés

- *Panne* : la survenue d'une panne affecte la capacité de production à la date courante. Par conséquent, un écart ( $\Delta_1$ ) s'établit entre le besoin brut planifié de MP à la première période de la date courante ( $gr_j^t(1)$ ) et le besoin réel ( $Rgr_j(t)$ ).  $\Delta_1$  représente donc une quantité qu'il reste à produire à la date suivante. La première période du plan mise à jour à la date suivante ( $gr_j^{t+1}(1)$ ) doit donc intégrer cette quantité (l'hypothèse est faite qu'à cette date la capacité disponible sera suffisante pour le faire) ;
- *Rebut* : certains processus de production sont affectés par des problèmes de rebut. Ces problèmes de rebut se traduisent en matière de besoins bruts de MP par une consommation réelle supérieure au besoin brut programmé à la première période du plan ( $\Delta_2$ ). Cette surconsommation induit une baisse non prévue du niveau de stock. Ce stock doit donc être reconstitué à la date suivante. ( $gr_j^{t+1}(1)$  augmente de  $\Delta_2$ ) ;
- *Anticipation urgente* : il s'agit d'une variation de la date d'une demande à Très Court Terme. Au moment de faire le bilan sur la période, on se rend compte qu'un besoin planifié à  $t$  pour la période 2 ( $gr_j^t(2)$ ) a été réalisé (tout ou en partie) à la période 1 (période courante). Cela se traduit donc par une augmentation du besoin brut réel ( $Rgr_j(t)$ ) comparé au besoin brut planifié ( $gr_j^t(1)$ ) et une diminution dans le plan à la prochaine date ( $GR_{j,t+1}$ ) ;
- *Demande réelle différente de la demande planifiée* : la notion de demande est ici relative à la demande reçue par l'acteur dont les fonctions « production » et « dispatch » doivent intégrer le module aval. Cette perturbation peut avoir deux impacts possibles suivant la stratégie de production :
  - en flux poussé, les ordres de fabrication planifiés pour la date courante ne peuvent plus être changés. Le besoin brut réel ( $Rgr_j(t)$ ) n'est donc pas modifié. En revanche, le plan prévisionnel de besoins bruts devra être révisé à la date suivante pour intégrer cette modification ( $GR_{j,t+1}$ ). Prenons l'exemple d'un client dont la commande passe de 100 à 80 unités. L'ordre de fabrication associé à la commande originale étant lancé, 100 unités vont être produites. Néanmoins, ce « surplus » de 20 pièces va impacter la prochaine planification entraînant une baisse équivalente du prochain besoin ;
  - en flux tiré, la production est adaptée. Le besoin brut réel ( $Rgr_j(t)$ ) est donc modifié au contraire du prochain plan prévisionnel de besoins bruts ( $GR_{j,t+1}$ ) qui reste indifférent à la survenue de cet événement.

#### Bilan : comportement de l'agent :

D'un point de vue statique, l'agent aval est en charge de la génération d'un plan de besoins bruts. Celui-ci servira à compléter l'horizon du plan de besoins à chaque glissement de celui-ci.

D'un point de vue dynamique, l'agent aval est décomposé en quatre sous-agents : LT, MT, CT et TCT. Chacun d'eux est caractérisé par :

- des perturbations possibles : mouvements ou modifications de quantités avec les attributs qui les caractérisent ;



- une périodicité à laquelle il intervient. A chaque intervention, il effectue un certain nombre de tirages aléatoires pour savoir dans un premier temps si chaque perturbation (qui lui est associée) apparaît, puis pour les quantifier dans un second temps (quantités, nombre de périodes,...) ;
- un horizon gelé, durant lequel aucune perturbation ne peut avoir lieu. Cette notion d'horizon associée à un éventuel horizon limite permet de définir l'horizon d'impact des perturbations associées à chaque agent (Figure 4.27).

Une fois le plan prévisionnel de besoins bruts généré, celui-ci est traité successivement par l'ensemble des sous-agents. La Figure 4.28 résume le principe de fonctionnement du modèle dans sa version actuelle. A son initialisation, l'agent aval commence par générer un plan de besoins bruts. Celui-ci est ensuite transmis à la source de perturbation MT. Sur la base du plan mise à jour à MT, les perturbations CT sont appliquées. En parallèle, les perturbations LT sont également appliquées si la date correspond à une date d'apparition de la source LT (par exemple toutes les 4 semaines). L'agent aval est en charge de la fusion des plans de besoins bruts ainsi obtenus lorsque la source LT agit. Par hypothèse, en cas de conflit, les perturbations CT prévalent sur les perturbations LT (et les perturbations de type sous-traitance sur les perturbations de types lissage). Les perturbations non réalisées ne sont pas appliquées. Enfin, les perturbations TCT sont appliquées. Le cycle reprend à la date suivante par les perturbations MT.

De plus, nous avons vu plus haut que l'agent aval connaît à tout instant plusieurs prévisions. Lorsqu'une perturbation apparaît, elle est appliquée à toutes les prévisions.

Ainsi, avant chaque changement de période, pour chaque MP, l'agent connaît un plan de besoins bruts mis à jour (en sortie de la fusion) (sur  $n$  tendances) et un besoin brut réel. Il peut alors transmettre la prévision à laquelle croient les agents entreprise du cœur de modèle et le besoin réel.

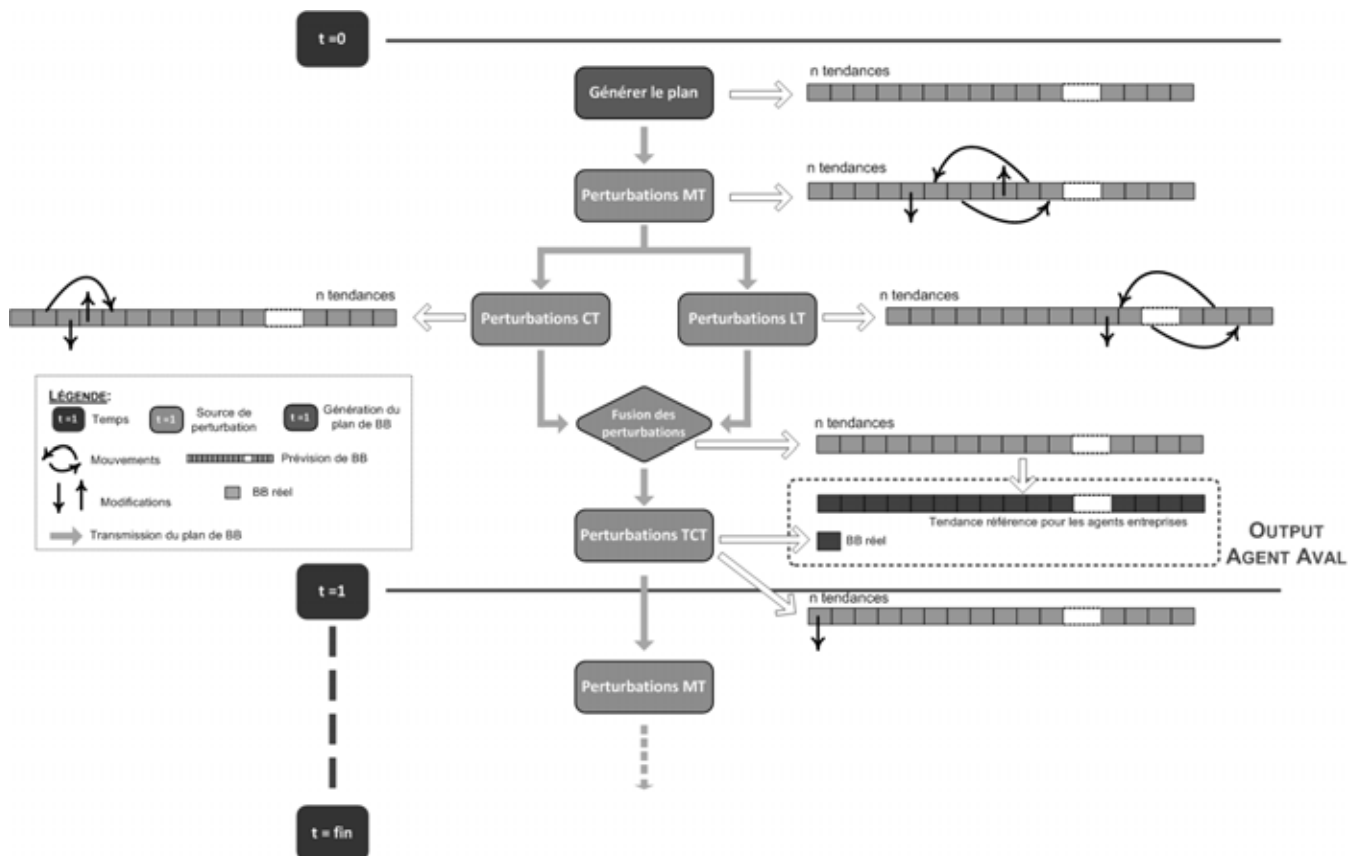


Figure 4.28: Principe de fonctionnement de l'agent aval

## 3 Le modèle de simulation

Le modèle de simulation a été développé dans le langage PERL. Il s'agit d'un modèle informatique de type événements discrets orienté par périodes. Deux niveaux de code peuvent être distingués : un niveau bas (code principal) qui permet la simulation centralisée d'une expérience et constitue l'implémentation du modèle représentatif, et un niveau haut qui permet le traitement d'un plan d'expériences (gestion des expériences) de manière centralisée ou distribuée.

### 3.1 Traitement d'une expérience (niveau bas)

Le modèle représentatif de la chaîne qui a été bâti, est un modèle distribué. Compte tenu du niveau de granularité recherché, il repose sur des agents dont les processus internes ne cherchent pas des optimisations mais se contentent d'heuristiques. Par conséquent, après implémentation dans le modèle de simulation, chacun de ces processus ne demande pas beaucoup de ressources de calcul et la simulation d'un scénario sur 500 semaines ne demande pas plus de deux minutes<sup>1</sup>. Aussi, le besoin de distribuer les agents sur plusieurs machines ne s'est pas fait ressentir. Le modèle de simulation de chaque expérience est donc centralisée. Nous verrons plus loin que le plan d'expériences peut être, lui, distribué sur plusieurs machines pour gagner du temps sur sa réalisation.

#### 3.1.1 Traitement d'une expérience : principe général

LogiRisk permet la simulation d'un grand nombre de scénarios (ou expériences). Tous les scénarios se partagent un certain nombre de données (données descriptives de la chaîne) et se différencient sur la définition des aléas, comportements et protocoles mis en œuvre au cours de chacun d'eux (données descriptives de l'expérience). Nous parlons respectivement de données et de facteurs d'un plan d'expériences pour décrire cette distinction entre données partagées et données spécifiques à chaque expérience. Sur la Figure 4.29, nous distinguons la dénomination des facteurs (liste des facteurs) de la description des valeurs de chacun d'eux. La première est utilisée par les processus de gestion pour savoir à quels paramètres correspondent les valeurs données par la seconde.

Données descriptives de la chaîne et de l'expérience constituent les deux entrées principales du modèle de simulation (Figure 4.29). Ce dernier doit également connaître une durée totale de simulation (exprimée en nombre de périodes) et la durée de la période d'initialisation (exprimée en nombre de périodes également). Cette phase d'initialisation de chaque expérience est importante car LogiRisk doit permettre l'évaluation des perturbations (positives ou négatives) introduites par des aléas et/ou des décisions (comportements ou protocoles) sur un état initial de référence. La période d'initialisation doit donc permettre l'obtention d'un état de référence qui permette la comparabilité des expériences entre elles.

---

<sup>1</sup> ce chiffre est relatif à l'utilisation d'un ordinateur courant capable d'exécuter des scripts Perl. Il est souvent bien inférieur dès lors que ce sont des serveurs qui sont utilisés pour le calcul. Les accès aux fichiers de sortie pour écriture constituent une grosse partie du temps de simulation.

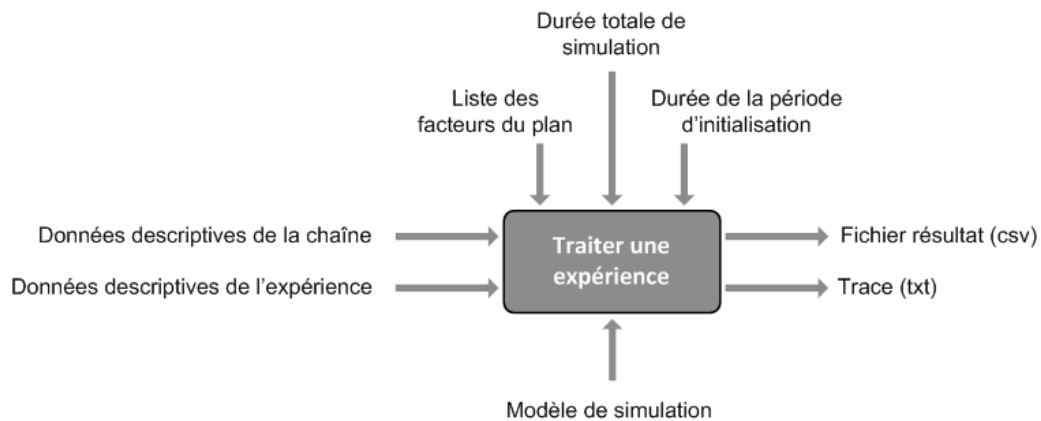


Figure 4.29: Traitement d'une expérience (input/output)

Du point de vue de l'instanciation, le traitement d'une expérience entraîne la création de deux fichiers différents :

- un *fichier résultat* (.csv) : ce fichier au format csv (« Comat Separated Variables ») peut être vu comme un tableau où chaque ligne représente une date de simulation (de 0 à la durée totale de simulation) et chaque colonne représente un indicateur choisi. La valeur de chaque indicateur est enregistrée dans ce fichier à chaque changement de période durant la simulation. Le nombre de ces indicateurs peut être potentiellement élevé permettant de suivre des indicateurs de types stocks, capacité, lancement en production, ruptures, commandes, livraisons, réceptions,... pour chaque acteur et chaque produit (matières premières et produits finis) (Figure 4.30) (1 fichier par expérience) ;
- un *fichier trace* (.txt) : ce fichier au format texte permet de tracer au besoin le déroulement des processus au moment de la vérification (1 fichier par expérience).

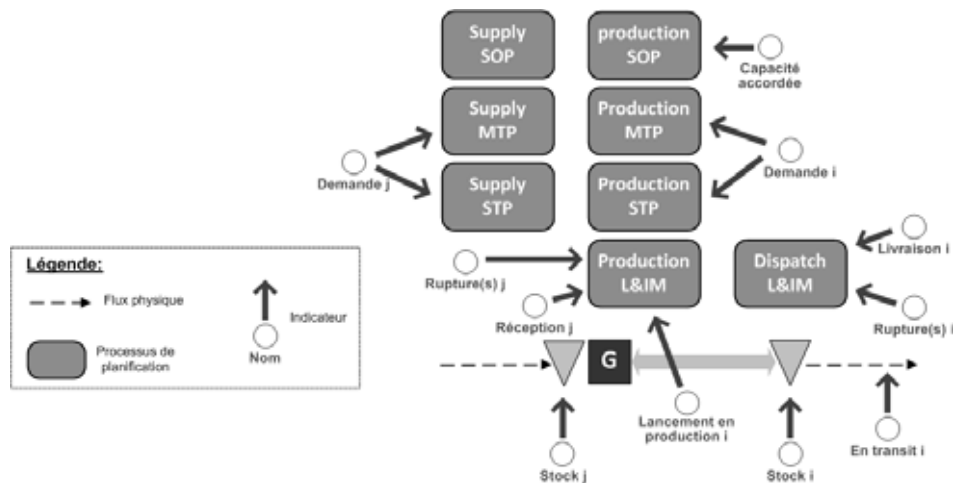


Figure 4.30: Exemples d'indicateurs suivis pour un acteur

### 3.1.2 Implémentation des agents

Les agents du modèle représentatif ont été implémentés au travers de l'utilisation de la notion d'objet. Plusieurs classes d'objets sont utilisées :

- classes *Planification* : implémentation des sous-agents SOP, MTP, STP, L&IM et LA. Les objets appartenant à cette classe sont liés à un unique objet acteur. Ils sont sollicités par un objet acteur pour réaliser un processus de planification. Ils peuvent au besoin créer des instances d'autres classes de Planification dites supports (Demande de Capacité, Décision de Capacité, Planification à capacité infinie, Prévisions de Demande, Prévisions de Vente) ;
- classe *Acteur* : implémentation de l'agent entreprise. Cet objet est sollicité par des messages qui lui demandent de réaliser deux types d'actions : effectuer un processus de planification ou changer de période. Pour cela, il sait traiter en interne un certains nombre d'informations (compilation de demandes, de prévisions, lancement/réception production/livraisons,...). Il connaît surtout une méthode qui lui permet de reconnaître les messages et de créer des instances des classes de planification (SOP, MTP, STP, L&IM, LA) pour réaliser les processus de planification (les liens sont enregistrés dans des attributs) ;
- classe *Aval* : implémentation de l'agent Aval. L'objet est sollicité pour la création des prévisions de la demande au début de la simulation et l'expression des commandes et la transmission de la prévision à chaque période pour chaque produit.

Nous avons vu, au chapitre 2, que les modèles à événements discrets orientés périodes sont particulièrement bien adaptés vis à vis de modèles représentatifs de processus périodiques. Par conséquent, tous les objets intègrent une implémentation directe des modèles présentés dans la partie 2 de ce chapitre (modèles de processus : SOP, MTP et modèle de type « bilan à la période » : STP, L&IM).

Tous les processus de planification s'échangent des plans. Depuis son origine, le modèle intègre une classe Plan. Les plans échangés par les autres objets du modèle sont des instances de cette classe. Elle est définie, entre autre, par : une date de réalisation du plan, le produit auquel il rapporte, un horizon (nombre de périodes du plan), une granularité (1 période du plan représente n périodes réelles), et une liste de valeurs (chacune représentant une valeur du plan). Cette classe comporte les méthodes permettant les opérations entre et sur des plans (addition, modification de l'horizon, multiplication par un facteur,...), mais aussi des méthodes plus spécifiques aux problématiques de planification telles que le calcul d'un plan de couverture ou d'un lissage.

### 3.1.3 La gestion des événements

LogiRisk est un outil de simulation à événements discrets. A ce titre, il suit les principes d'un modèle de simulation à événements discrets présentés au chapitre 2. A chaque simulation une classe dédiée à l'orchestration des événements de la simulation est instanciée (classe SCSimule). Charge à l'objet « SCSimule » (objet orchestrateur) ainsi créé de gérer l'échéancier (initialisation, tri, sélection et application des événements) dans lequel on retrouve tous les événements à réaliser. Deux types d'événements sont définis (Mahmoudi, 2006) :

- événement « *déclenchement d'un processus de planification* » : cet événement sollicite l'objet acteur auquel il est associé pour la réalisation d'un processus de planification particulier. L'objet Acteur sait reconnaître différents types d'événements « déclenchement » pour créer (et sauver le lien vers) l'objet planification adéquat afin de réaliser le processus de planification demandé. L'hypothèse est faite ici qu'un objet Planification utilise les informations sur l'état en début de la période de l'objet acteur qui lui est associé. La fin de l'exécution d'un processus de planification

permet la mise à jour de ces connaissances et l'archivage des décisions. Elle renseigne également l'échéancier sur la prochaine date d'exécution du même type de processus. A titre d'exemple, à la fin d'un processus PIC, un nouvel événement « faire PIC » est « posté » dans l'échéancier pour une date égale à la date courante à laquelle est ajouté un nombre de périodes caractéristique de la périodicité d'un PIC ;

- événement « *changement de période* » : cet événement déclenche chez tous les objets acteurs et aval la méthode de changement de période. Pour chaque objet acteur, celle-ci permet l'incrémentation de l'attribut date et la mise à jour des informations de son état qui sera considéré comme l'état initial au début de la période suivante (stocks, ruptures, lancements, capacité, attendus, en-cours,...)

L'objet orchestrateur des événements connaît le processus global de planification de la chaîne au sens où il connaît dans quel ordre doivent s'effectuer les différents processus de planification chez les différents objets acteurs. Nous renvoyons vers (Mahmoudi, 2006) pour des explications détaillées sur cette orchestration basée sur des codes attribués à chaque événement. En fixant les codes de priorité, l'utilisateur détermine l'ordre de réalisation des processus et changements de période. Les numéros sur la Figure 4.31 donnent un exemple de déroulement des processus de planification de deux objets acteurs entre deux changements de période (projection sur le modèle représentatif pour une meilleure compréhension).



Figure 4.31: Ordre de réalisation des processus de planification dans la chaîne ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006))

### 3.1.4 La génération de nombres aléatoires

Dans la partie 2, nous avons décrit le modèle représentatif. Les techniques d'abstraction utilisées pour décrire les aléas des agents STP (pannes) et L&IM (rebut, retard de production et livraison) et la génération de la demande pour l'agent aval sont essentiellement basées sur de la description de données et/ou de processus déterministes par des fonctions stochastiques. Dans le modèle de simulation, cette génération de nombres aléatoires est basée sur l'algorithme Mersenne Twister (Matsumoto and Nishimura, 1998). Ce dernier est un générateur de nombre pseudo aléatoire qui génère des séries de valeurs à partir d'une « racine ». L'utilisation d'une génération pseudo

aléatoire permet de s'assurer que chaque expérience pourra être conduite dans les mêmes conditions (les mêmes résultats des tirages aléatoires) que les autres ou reconduite. La seule condition est de s'assurer que chaque expérience, pour lesquelles on désire des conditions semblables, se fait à partir de la même racine (ou « seed ») et avec un même nombre de tirages.

Pour cela, une classe d'objets « random » a été définie. A chaque réalisation d'une expérience, un objet random est créé et une racine lui est passée en attribut au moment de son initialisation. Cet objet random contient toutes les méthodes de tirages aléatoires (lois normales, binomiales,...) utilisées par l'objet STP (aléa panne) et l'objet aval (génération de la demande réelle et prévisionnelle). En d'autres termes, il permet les tirages des nombres aléatoires réalisés à chaque période de simulation (nombre fixe de tirages).

Une seconde instanciation de la même classe, un objet « random simu », est également créé et initialisé de la même manière. Celle-ci permet la réalisation des tirages des aléas de types rebut (occurrence, quantité) et retard (occurrence, amplitude et sens) de l'objet L&IM. Comme l'occurrence de ces aléas n'est pas obligatoire à chaque période, le nombre de tirages peut varier d'une expérience à une autre et donc engendrer des différences dans les résultats des tirages d'une expérience à une autre. La séparation de la génération des nombres aléatoires en deux objets random permet donc d'assurer des tirages de la demande et des taux de pannes à chaque période identiques pour une même racine.

### 3.1.5 Bilan

La Figure 4.32 résume le principe de fonctionnement du modèle de simulation. Un objet orchestrateur de l'expérience est responsable de l'avance du temps et de la gestion de l'échéancier d'événements. Il est créé à l'initialisation de l'expérience et reçoit en attribut les données descriptives de la chaîne et de l'expérience.

L'interface se fait pour les données descriptives de la chaîne sur la base de fichier csv qui seront lus par l'outil au moment du démarrage de l'expérience. La définition des données descriptives de l'expérience se fait aujourd'hui à l'aide d'une ligne de valeurs d'attributs (nombres ou lettres) lue par l'outil et d'une explicitation directe dans un fichier « exécutable » de l'outil de cette ligne de valeur (établissement du lien valeurs prises par les facteurs – attributs d'objets). Il s'agit de définir les valeurs des comportements (décisions) et/ou des protocoles et/ou des aléas qui seront simulés dans l'expérience.

La gestion de la pile d'événements déclenche des activités chez les objets acteurs et marché. Celles-ci utilisent des processus supports pour se réaliser et mettre à jour les attributs de l'objet avant d'ajouter de nouveaux événements à la pile gérée par le gestionnaire (processus périodiques). A chaque date, l'état de chaque objet est enregistré dans le fichier résultats.

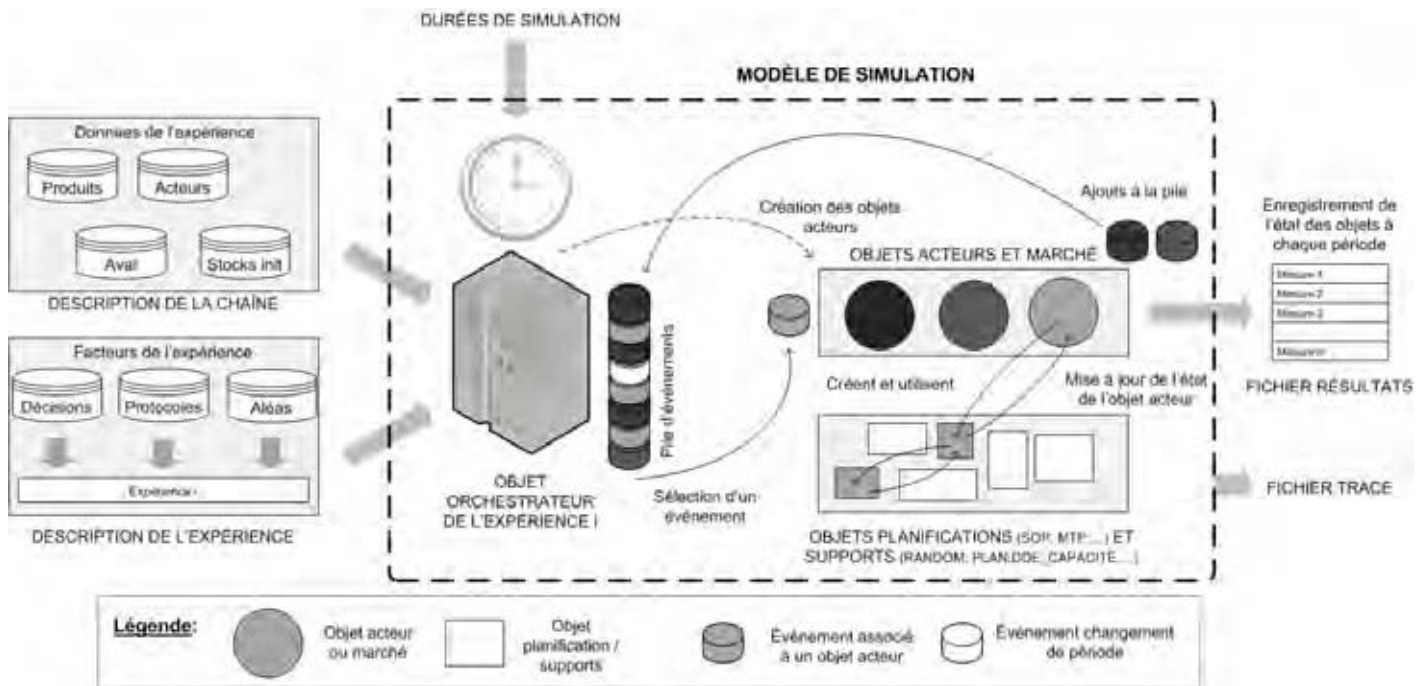


Figure 4.32: Principe général du modèle de simulation

## 3.2 Définition et traitement d'un plan d'expériences (niveau haut)

Le but de la « couche haute » de l'outil, modélisée par un objet gestionnaire du plan d'expériences, est de définir et répartir la simulation des différentes expériences. D'abord, il s'agit de définir quelles sont les facteurs qui vont varier et leur plage de variation (démarche sur laquelle nous reviendrons au chapitre 4). Ensuite, deux modes de gestion du plan sont possibles :

- plan centralisé : toutes les expériences s'effectuent sur un même ordinateur ;
- plan distribué : une liste de machines est définie au préalable à l'objet gestionnaire. L'agent gestionnaire affecte successivement les expériences aux machines, dès que celles-ci se libèrent.

Une vision des entrées/sorties du traitement d'un plan d'expérience est donnée dans la Figure 4.33. La description du plan d'expériences consiste en la définition d'une liste de facteurs devant évoluer d'une expérience à une autre et les niveaux qui leur sont associés pour chacune d'elles. Un exemple de facteur peut être le « type de production » et les niveaux, qui lui sont associés, peuvent être « poussé » ou « tiré ».

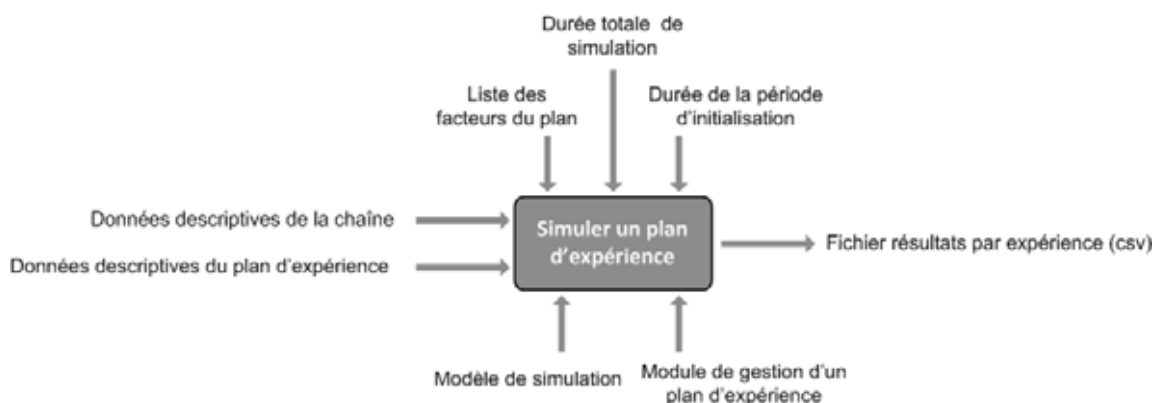


Figure 4.33: traitement d'un plan d'expériences (input/output)

La Figure 4.34 illustre le principe de réalisation d'un plan d'expériences distribué dans le cas de simulations centralisées. Les fonction principales de l'agent gestionnaire du plan y sont représentées. La partie gauche reprend les différentes données que doit fournir l'utilisateur. A droite, en sortie, l'utilisateur récupère un fichier résultat par expérience. Au centre, l'objet gestionnaire répartit les expériences du plan sur les machines en fonction de leur disponibilité (en gris non disponible).

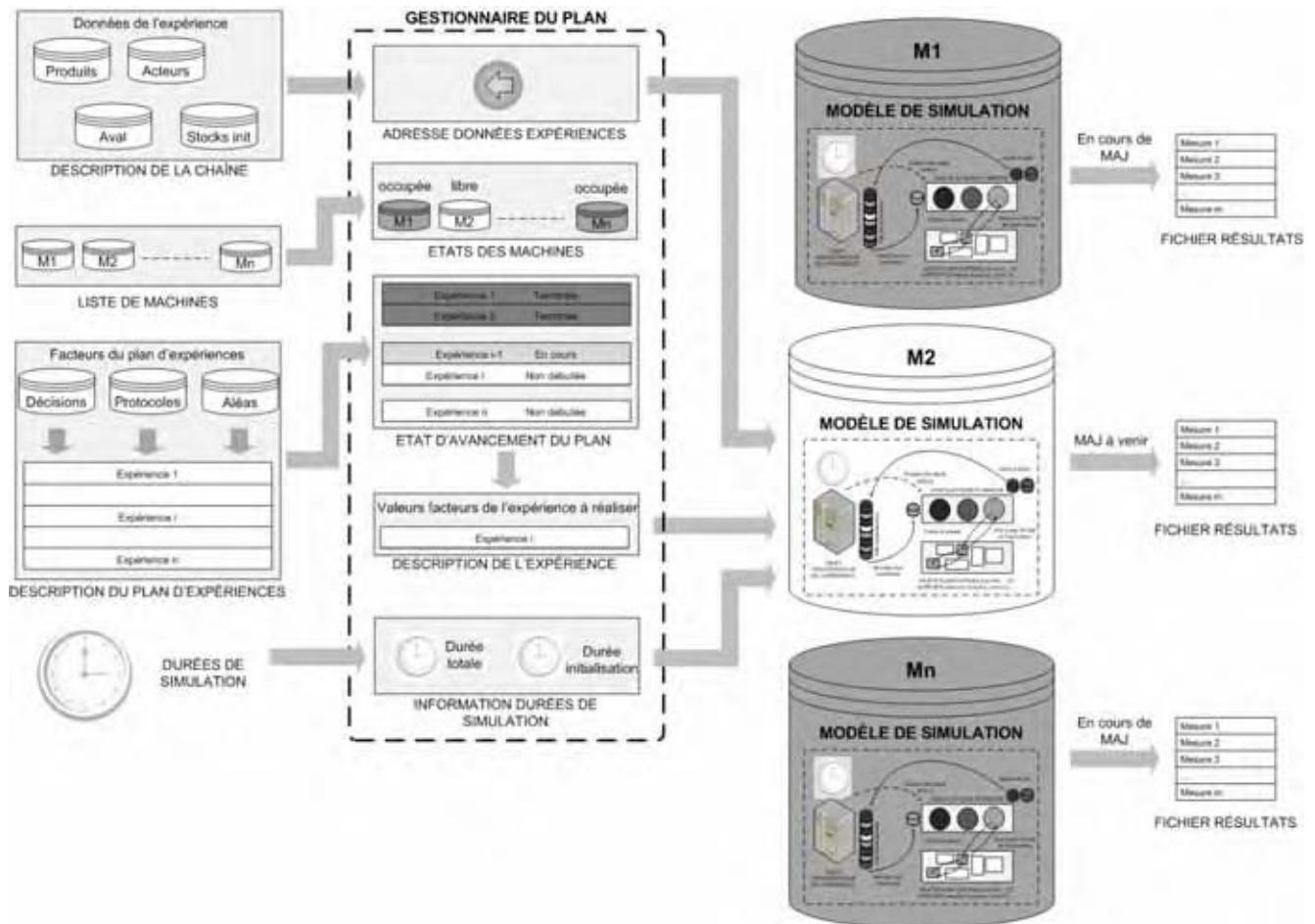


Figure 4.34: Principe de réalisation d'un plan d'expériences (plan d'expériences distribué de simulations centralisées)



## 4 Éléments de validation<sup>1</sup>

« Comme celle du recueil de données, la phase d'analyse des résultats doit donner lieu à la mise en place de dispositifs appropriés qui, [...], vont permettre d'éprouver la valeur des résultats obtenus en les testant ». Telle est décrite la nécessité de validation pour B. Cadet et G. Chasseigne (2009). Admettant que « plusieurs stratégies » existent pour réaliser ces tests, ils présentent ces stratégies comme des « postures méthodologiques » qui traduisent une « démarche prudente consistant à se méfier des évidences [...] afin de ne pas se laisser abuser dans son jugement ». Dans cette partie, nous allons chercher les moyens utilisés pour valider le modèle de simulation vis à vis du système réel (§4.1) et vis à vis des objectifs d'analyse (§4.2)

### 4.1 Des indicateurs pour valider le modèle de simulation (validation du système réel)

Le chapitre 2 a mis en exergue deux types de validations, respectivement associées aux modèles représentatif et de simulation. Toutes les deux établissent la comparaison au système réel. A ce stade, nous faisons l'hypothèse que la validation du modèle représentatif découle de l'utilisation de processus reconnus et formalisés (MRPII) et des explications et hypothèses de modélisation présentées dans la partie 2 de ce chapitre. La modélisation de l'agent aval (implémenté dans un objet aval) reste cependant à valider. Une validation universelle (tout contexte, tout système réel) du modèle aval est impossible. Par conséquent, dans cette partie, nous allons nous concentrer sur la définition d'indicateurs permettant l'évaluation de plans par l'utilisateur dans son contexte d'étude. L'idée est de proposer à l'utilisateur un jeu d'indicateurs utilisables pour comparer des plans issus de la simulation à des plans et/ou des données issus de la réalité.

Simulation et réalité permettent l'obtention, pour un plan donné, de plusieurs itérations, chacune correspondante à une mise à jour de ce plan à chaque glissement de l'horizon. Trois types d'évaluations, illustrées dans la Figure 4.35, ont été différenciées :

- l'évaluation globale porte sur une vue complète du plan, sur tout l'horizon de simulation ;
- l'évaluation « statique » consiste à définir le plan moyen ;
- l'évaluation « dynamique » consiste à mesurer les changements moyens entre deux dates de mise à jour du plan.

Les prochaines parties sont consacrées à l'explicitation de chacune de ces évaluations avec les notations suivantes : soit  $HT$ , un horizon total pendant lequel le plan  $P$  va évoluer et être mis à jour. Cette horizon est discrétisé en pas régulier ( $pas$ ) définissant ainsi des dates  $t$ . Soit également  $P'$ , un plan caractérisé par une date de mise à jour  $t$ , un horizon  $H$  et une périodicité entre deux mises à jour  $\Delta_t$ . Pour chaque période  $p$  du plan  $P'$ , notons  $v(p, P')$ , la valeur du plan associée à la période  $p$ . L'hypothèse est ici qu'une période ( $p$ ) d'un plan et sa périodicité sont des multiples du pas de discrétisation de  $HT$ . Nous pouvons donc écrire :  $\Delta_t = A \times pas$  et  $p = B \times pas$  ( $A$  et  $B$  entiers positifs), d'où une relation entre  $p$  et  $\Delta_t$  :  $\Delta_t = C \times p$  (avec  $C = A/B$ ). Nous faisons également l'hypothèse que  $\Delta_t$  est un multiple de  $p$  ( $C$  entier positif).

<sup>1</sup> Nous noterons que la vérification de l'implémentation du modèle de simulation, non abordée en détails de ce mémoire, a été réalisée grâce à l'examen des fichiers traces d'un certain nombre de simulations (instanciations) « tests ». Le déroulement de chaque processus a été tracé étape par étape afin d'en vérifier les calculs et les résultats.

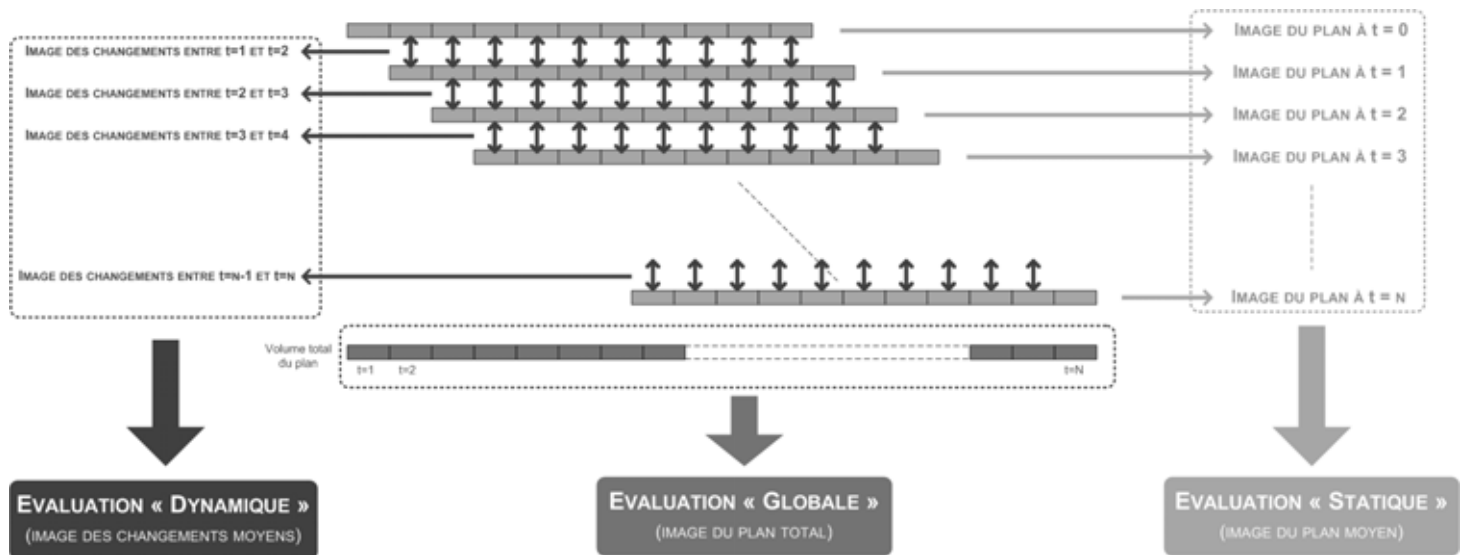


Figure 4.35: Trois modes d'évaluation d'un plan

### 4.1.1 Evaluation globale

Cette évaluation consiste à observer le volume global du plan pour l'ensemble de ses dates de mise à jour  $\left( \forall t \in HT, Vol(t) = \sum_p V(p, P^t) \right)$ . Le but est de mettre en avant certaines caractéristiques du plan telles que des phénomènes de saisonnalité ou de changement dans la tendance globale suivie. Des exemples de phénomènes détectés au travers de cette analyse sont donnés dans la Figure 4.36.

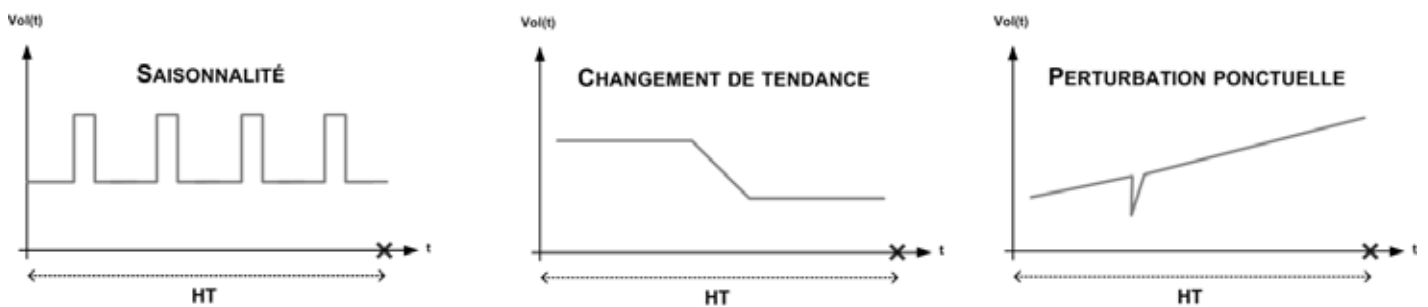


Figure 4.36: Exemples de phénomènes détectés par l'évaluation globale

L'intérêt de caractériser un plan par le volume total des besoins associé à chaque date de mise à jour du plan doit néanmoins être nuancée. Le choix de l'horizon total ( $HT$ ) doit être pertinent vis à vis de certaines caractéristiques du besoin. Par exemple, pour que cet indicateur fasse apparaître une saisonnalité, il faut que la fréquence d'apparition de celle-ci soit supérieure à l'horizon du plan.

L'objectif de cet indicateur est de faire apparaître des tendances grossières des plans qui vont être ensuite analysés plus finement en statique et dynamique. Le but est donc de mettre à jour des « gros » événements qui apparaîtraient mal aux analyses statiques et/ou dynamique et qui en rendraient donc plus difficile l'analyse (par exemple chercher à expliquer une valeur haute d'un plan, alors qu'elle est due à une saisonnalité).

## 4.1.2 Evaluation « statique »

L'évaluation statique d'un plan consiste à décrire le plan « moyen » sur un horizon ( $HT$ ) donné. Deux temps peuvent être distingués pour construire ce plan moyen :

- analyse du plan à chaque date de mise à jour ;
- agrégation des analyses réalisées à chaque date de mise à jour par moyenne.

### 4.1.2.1 Analyse du plan à chaque date de mise à jour

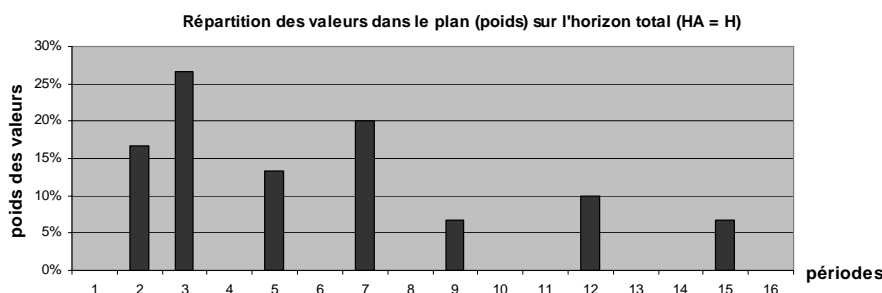
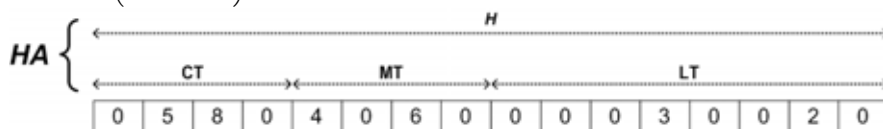
Il existe plusieurs moyens de réaliser l'analyse d'un plan en fonction de l'intervalle de temps observé à l'intérieur de son horizon. Nous parlerons ici d'Horizon d'Analyse ( $HA$ ) pour décrire cette partie de l'horizon  $H$  d'un plan analysée. Il est caractérisé par :  $HA = [a ; b]$  avec  $a, b \in H$  et  $a < b$ . Un exemple de « découpage » de l'horizon pour l'analyse consiste à considérer quatre  $HA$  : l'horizon total du plan ( $HA = H$ ) et les trois horizons de décisions classiques LT, MT et CT (les frontières entre LT, MT et CT peuvent évoluer selon les cas).

Pour chaque  $HA$  choisi, nous proposons quatre indicateurs pour analyser la structure d'un plan (mis à jour à  $t$ ) sur un horizon donné :

- la moyenne des valeurs non nulles :  $moy^{HA}(t) = \underset{p \in HA}{moyenne} (V(p, P^t) / V(p, P^t) > 0)$  (4.32)
- l'écart-type des valeurs non nulles :  $ect^{HA}(t) = \underset{p \in HA}{ecartype} (V(p, P^t) / V(p, P^t) > 0)$  (4.33)
- le nombre de périodes moyen séparant deux valeurs non nulles :  
 $per^{HA}(t) = moyenne(T_{zéro})$  où  $T_{zéro}$  est la liste des périodes à valeurs nulles du plan. Cette liste est établie sur la base d'une fonction présentée en Annexe 5;
- la répartition des volumes dans le plan : pour chaque période  $p$  du plan, la part de la valeur associée à la période dans somme des valeurs sur tout le plan est calculée :

$$\forall p \in HA, w^{HA}(p, t) = \frac{V(p, P^t)}{\sum_{p \in HA} V(p, P^t)} \quad (4.34)$$

La Figure 4.37 illustre l'utilisation de ces indicateurs. Elle est composée de trois éléments : l'élément supérieur représente le plan analysé et les  $HA$ . L'élément droit est le tableau avec les valeurs de moyenne, écart-type et périodicité du besoin sur les différents  $HA$ . Enfin, l'élément inférieur représente graphiquement la répartition des volumes dans le plan sur l'horizon total ( $HA = H$ ).



<b>HA</b>	$moy^{HA}(t)$	$ect^{HA}(t)$	$per^{HA}(t)$
<i>H</i>	4,3	2,2	1,1
CT	6,5	2,1	0,7
MT	5	1,4	1
LT	2,3	0,6	1,7

Figure 4.37: Exemple d'évaluation « statique » d'un plan à une date donnée

### 4.1.2.2 Agrégation sur plusieurs dates de mise à jour du plan

La seconde étape de l'analyse « statique » consiste à établir une évaluation du plan moyen. Pour cela, il suffit de réaliser une moyenne pour l'ensemble des indicateurs sur l'ensemble des dates de mise à jour. Nous obtenons alors, pour chaque  $HA$  :

- La valeur du besoin moyen (non nul) sur un ensemble de dates :

$$M_{HA}^{HT} = \text{moyenne}_{t \in HT} \left( \text{moy}^{HA}(t) \right) \quad (4.35) ;$$

- l'écart-type moyen des besoins non nuls sur un ensemble de dates :

$$E_{HA}^{HT} = \text{moyenne}_{t \in HT} \left( \text{ect}^{HA}(t) \right) \quad (4.36) ;$$

- la périodicité moyenne entre deux besoins non nuls sur un ensemble de dates :

$$P_{HA}^{HT} = \text{moyenne}_{t \in HT} \left( \text{per}^{HA}(t) \right) \quad (4.37) ;$$

- la répartition moyenne des volumes dans le plan sur un ensemble de dates :

$$\forall p \in HA, W_{HA}^{HT}(p) = \text{moyenne}_{t \in HT} \left( w^{HA}(p, t) \right) \quad (4.38).$$

Les informations sur le besoin, son écart-type et sa périodicité moyens peuvent constituer des renseignements précieux lorsqu'il s'agit d'analyser des données réelles, que cela soit pour paramétrer le modèle avant la simulation (moyenne, écart-type et période sont par exemple des paramètres directs de réglage de la génération de la demande par l'objet aval) ou bien pour analyser, par comparaison, les résultats de simulation. La Figure 4.38 illustre trois exemples possibles de profil de la répartition moyenne des volumes d'un plan sur son horizon. Nous pouvons en donner des exemples d'analyse. Le scénario (a) montre un regroupement des volumes du plan sur le début de l'horizon. Dans le cas, où le plan est un plan de demande, il peut s'agir d'un phénomène d'apparition tardive de demande/commandes. Le scénario (b) montrerait dans le cas inverse, avec des disparitions de commandes. Dans un cas où le plan serait un plan de besoins bruts de MP pour la production, le scénario (b) ou le scénario (c) pourraient également traduire un phénomène d'arrivée de commandes à un instant donné (tardive (c) ou non (b)) suivi d'un certain degré de lissage de ces besoins par anticipation. Il ne s'agit ici que d'exemples d'interprétations. La véritable analyse ne peut se soustraire au contexte et à la problématique auxquels elle appartient et donc à l'avis d'experts.

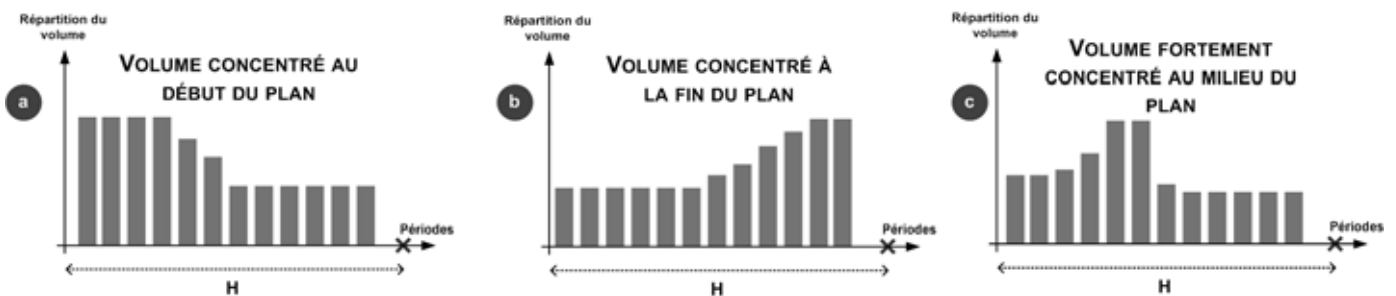


Figure 4.38: Exemples de phénomènes détectés par l'évaluation statique sur l'indicateur  $W_{HA}^{HT}(p)$

### 4.1.3 Evaluation « dynamique »

L'évaluation « dynamique » porte sur la comparaison d'un plan entre deux dates de mise à jour. L'objectif est de comparer les périodes du plan communes aux deux dates afin de décrire les modifications qui se sont réalisées d'une date à l'autre (Figure 4.39).

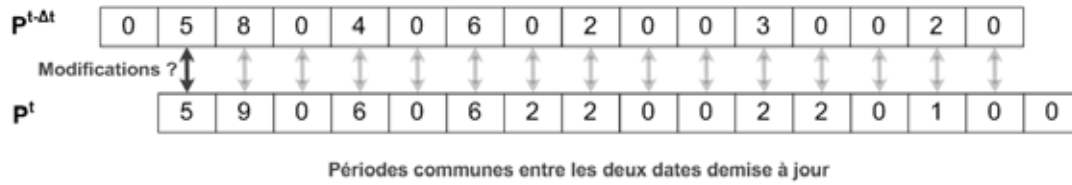


Figure 4.39: Illustration des périodes communes à deux dates de mises à jour d'un plan ( $\Delta_t = 1 \times p$ )

L'objectif de l'évaluation « dynamique » est de proposer une image des modifications moyennes qui ont lieu dans un plan sur un intervalle donné. À l'image de ce qui a été fait pour l'évaluation « statique », deux temps peuvent être différenciés : d'abord l'évaluation individuelle de chaque plan par rapport à son précédent, puis une agrégation de toutes les évaluations sur un horizon total donné ( $HT$ ).

#### 4.1.3.1 Evaluation individuelle de chaque mise à jour

Notons  $HP$ , l'Horizon Partagé, par deux plans consécutifs ( $P^{t-\Delta_t}$  et  $P^t$ ). Pour chaque période  $p \in HP$ , l'objectif est de caractériser l'évolution d'une valeur du plan entre ces deux mises à jour. En d'autres termes, nous cherchons à savoir si  $V\left(p + \frac{\Delta_t}{C}, P^{t-\Delta_t}\right)$  est égal à  $V(p, P^t)$ . Pour cela, pour chaque période analysée ( $p \in HP$ ), nous avons utilisé quatre mesures différentes pour évaluer :

- l'existence d'un changement entre les deux dates (oui/non) :  $n(p, t) \in (0; 1)$  ;
- le sens du changement : augmentation, pas de changement, diminution :  $s(p, t) \in (-1; 0; 1)$  ;
- la valeur moyenne de l'augmentation :  $q^+(p, t) \in \mathbb{Z}^+$  ;
- la valeur moyenne de la diminution :  $q^-(p, t) \in \mathbb{Z}^-$  ;

Le Tableau 4.5 donne les résultats de ces mesures pour l'exemple décrit dans la Figure 4.39. Deux numérotations de période apparaissent, respectivement associés aux plans à  $t - \Delta_t$  et à  $t$ .

Périodes (p)	t-1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n		0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
s		0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	-1	1	0	-1	0
q+		0	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0
q-		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0

Tableau 4.5: Exemple de valeurs prises par les mesures de l'évaluation « dynamique »

Afin de faciliter la lecture et la compréhension de ces résultats, nous en proposons une visualisation graphique, dont une illustration est donnée par la Figure 4.40. Les périodes sont représentées sur l'axe des abscisses (numérotation liée au plan à  $t$ ). Les valeurs des mesures  $n(p, t)$  et  $s(p, t)$  se lisent sur l'axe des ordonnées de gauche, celles de  $q^+(p, t)$  et  $q^-(p, t)$  sur celui de droite.

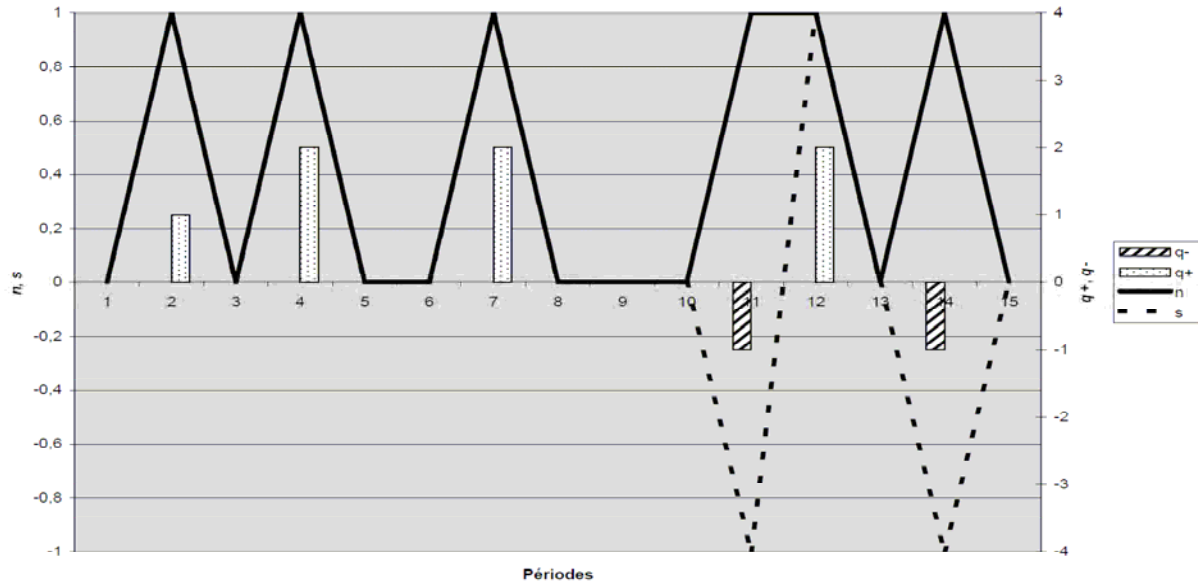


Figure 4.40: Représentation graphique des mesures « dynamiques »

#### 4.1.3.2 Agrégation sur plusieurs dates de mise à jour du plan

La seconde étape de l'analyse « dynamique » consiste à établir une évaluation de la dynamique moyenne d'un plan d'une date de révision à une autre. Pour cela, une moyenne est réalisée sur l'ensemble des mesures sur l'ensemble des dates de mises à jour. Nous obtenons alors, pour chaque  $p \in HP$  :

- une probabilité moyenne qu'un changement ait lieu à cette période ( $\in [0 ; 1]$ ) :

$$N(p) = \text{moyenne}_{t \in HT}(n(p, t)) \quad (4.39)$$

- une information sur le sens pris en moyenne par la modification (augmentation, stabilité diminution :  $\in [-1 ; 1]$ ) :  $S(p) = \text{moyenne}_{t \in HT}(s(p, t))$  (4.40)

- une information sur la quantité moyenne impliquée dans une augmentation :

$$Q^+(p) = \text{moyenne}_{t \in HT}(q^+(p, t)) \quad (4.41)$$

- une information sur la quantité moyenne impliquée dans une diminution :

$$Q^-(p) = \text{moyenne}_{t \in HT}(q^-(p, t)) \quad (4.42)$$

La représentation graphique s'obtient de la même manière que précédemment. Elle présente beaucoup plus d'intérêts que l'évaluation individuelle illustrée juste au dessus puisqu'elle renvoie à des informations « en moyenne », caractéristiques d'un comportement global du plan sur l'ensemble de l'horizon d'étude ( $HT$ ). Certains exemples de résultats possibles sont donnés dans la Figure 4.41. Ils correspondent au suivi de la dynamique d'un plan de besoins bruts généré par un objet aval transcription d'un modèle de type « limite aval entre deux fonctions d'un même acteur ». Chaque scénario, décrit brièvement dans le Tableau 4.6, a consisté à ne simuler qu'un seul type de décision ou d'aléa :

Nom	Décisions/Aléas	Paramètres du modèle de simulation	Commentaires
(a)	<b>lissage (LT)</b>	20% de chance d'occurrence de la décision de lissage entre les périodes 15 et 18 - anticipation (100%) du besoin sur 4 périodes (100%)	Nous retrouvons bien la disparition de besoin entre les périodes 15 et 18 ( $q^-$ avec $s < 0$ ) qui sont reportées sur les périodes 11 à 14 ( $q^+$ avec $s > 0$ )
(b)	<b>modification quantités du marché (MT)</b>	50% de chance d'occurrence d'une modification entre les périodes 8 et 11 avec 66% de chance que cela soit une augmentation plutôt qu'une diminution	Nous retrouvons bien un niveau moyen de mouvement aux alentours de 0,5. Le sens est lui aussi respecté ( $S \in [-1 ; 1]$ , d'où $S$ aux environs de 0,6 ou 0,7)
(c)	<b>ordonnancement (ST)</b> (Constitution de gros lots de production au moment de rentrer dans l'horizon court terme)	réglage de la taille des « gros » lots pour qu'ils soient constitués à la septième période	Nous retrouvons bien le déplacement de quantités de besoins de la 7 <sup>ème</sup> vers la 6 <sup>ème</sup> période. Le fait que la probabilité de mouvement soit d'environ 0,5 s'explique par une périodicité du besoin de l'ordre d'une période sur deux.

Tableau 4.6: Description des scénarios illustratifs de l'évaluation dynamique

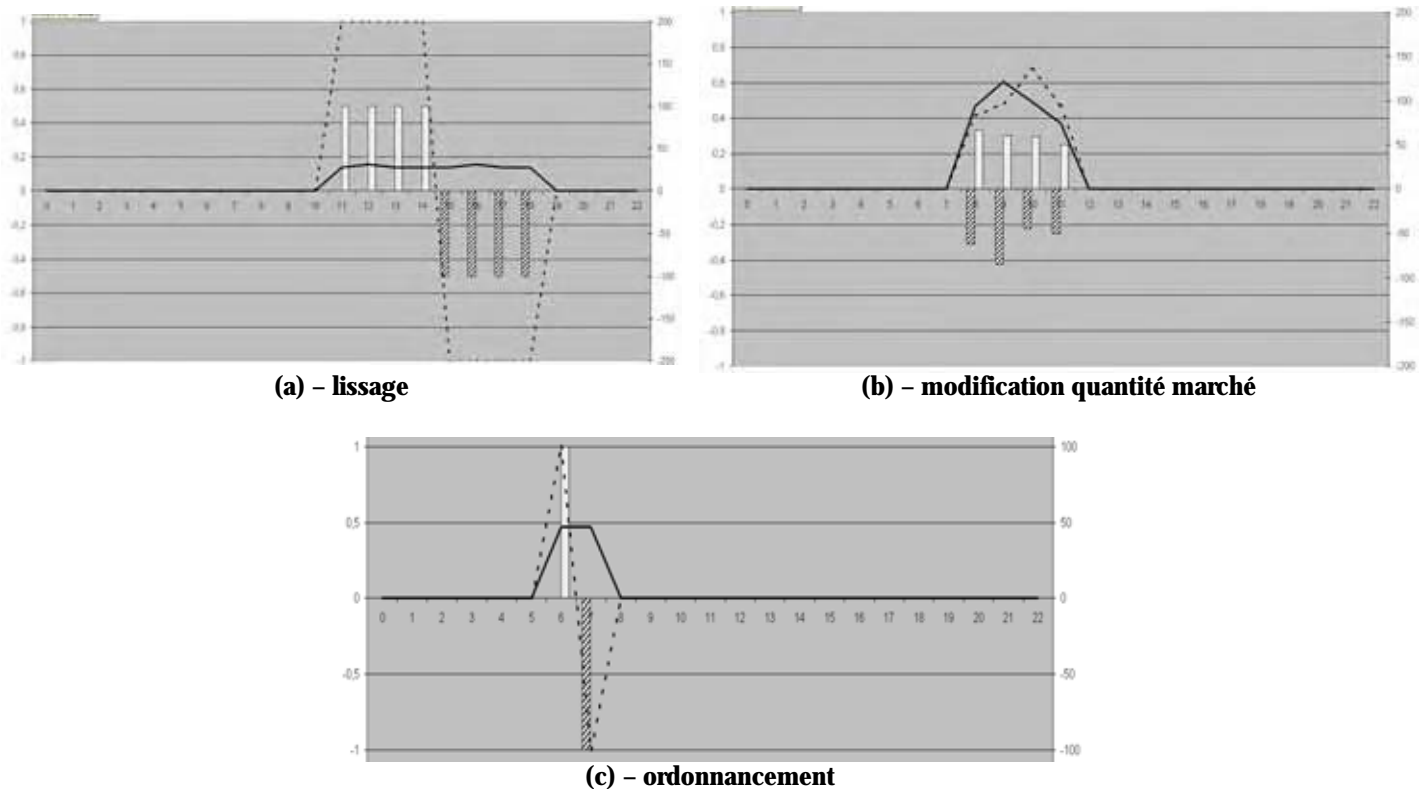


Figure 4.41: Exemples d'utilisations de la représentation graphique des mesures « dynamiques » pour caractériser certaines décisions ou aléas

## 4.2 Validation statistique des résultats de simulation (validation des objectifs d'analyse)

### 4.2.1 Résultats de simulation

Pour un plan d'expérience donné, le modèle de simulation permet l'obtention d'un ensemble de fichiers résultats ( de type « .csv ») : n fichiers résultats chacun relatifs à une expérience du plan. Ils peuvent être utilisés à deux niveaux :

- une lecture directe de chaque fichier csv où chaque ligne correspond à une date de simulation et chaque colonne un type d'indicateur. Cette première lecture est particulièrement utile pour vérifier ponctuellement les résultats de simulation (vérifications telles que l'absence de valeurs négatives dans les stocks, les lancements en production ou les capacités, absence d'une augmentation sans limite des stocks ou des ruptures,...) ;
- une lecture agrégée de chaque fichier csv qui permet d'associer à chaque expérience un unique vecteur de mesures. Il s'agit d'une étape de traitement des fichiers résultats bruts (illustrée par la Figure 4.42) qui consiste, pour chaque expérience, à agréger les valeurs d'indicateurs sur une certaine période de simulation (qui dépend de l'objectif d'analyse et qui sera appelée « fenêtre d'analyse »). L'opérateur d'agrégation utilisé ici est la moyenne.

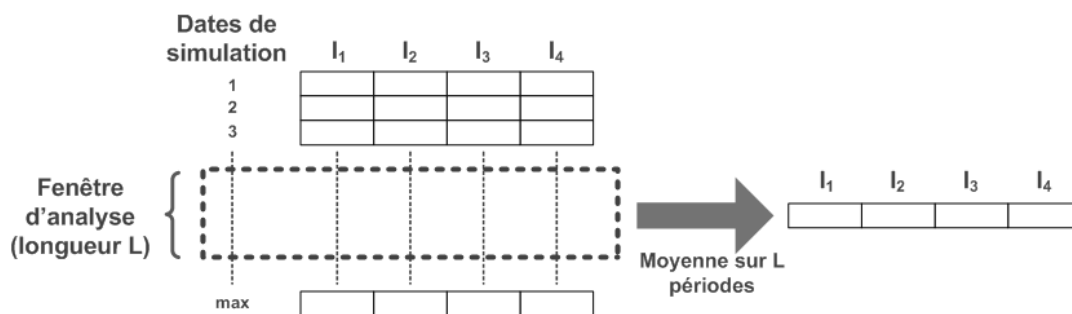


Figure 4.42: traitement de chaque fichier résultats en sortie de simulation LogiRisk

### 4.2.2 Analyse statistique (plans factoriels complets)

L'analyse statistique d'un plan d'expériences consiste à utiliser des méthodes d'analyse d'effets et d'interactions des paramètres de ce plan. Cette analyse fournit des conclusions sur la significativité des effets de chaque paramètre et de leurs interactions. Pour cette phase un outil a été développé en Perl afin d'automatiser l'extraction et le traitement des données issues d'un plan d'expériences. Les travaux menés jusqu'à aujourd'hui se limitent au traitement de plans dits « complets » où toute la combinatoire induite par les niveaux de chaque facteur est prise en compte (plans multifactoriels exhaustifs). Pour rappel, ce type d'analyse permet :

- de quantifier l'effet moyen d'un facteur ou d'une interaction sur chacun des indicateurs de performance suivi.
- de tester (test de Fisher-Snedecor) la significativité de l'effet d'un facteur ou d'une interaction (entre deux facteurs) : analyse de la variance ;



### Effets et interactions :

L'étude d'un plan complet consiste à étudier toutes les combinaisons possibles des facteurs pris en compte dans l'expérience. L'étude porte sur deux notions :

- l'effet moyen d'un facteur A au niveau i (noté  $E_{Ai}$ ), défini comme la moyenne des réponses lorsque A est au niveau i moins la moyenne générale (M) :

$$E_{Ai} = \text{moyenne des réponses lorsque } (A = i) - M \quad (4.43)$$

- l'interaction entre les niveaux de 2 à n facteurs. Par exemple, une interaction d'ordre 2 est l'interaction qui existe lorsque A est au niveau i et B est au niveau j (notée  $I_{AiBj}$ )

$$I_{AiBj} = \text{moyenne des réponses lorsque } (A = i \text{ et } B = j) - M - E_{Ai} - E_{Bj} \quad (4.44)$$

Ces calculs doivent être réalisés pour chaque indicateur de performance suivi.

### Analyse de la variance :

L'analyse de la variance a pour but de déterminer si les effets mesurés sont effectivement associés au(x) facteur(s) étudié(s) ou s'ils ne sont que la manifestation de la variabilité du système due aux facteurs non contrôlés (non étudiés dans le plan). L'analyse de la variance permet de déterminer à partir de quel seuil un effet peut être considéré comme significatif.

Elle repose sur la définition d'un certain nombre de réplifications pour une même expérience. Le terme réplification réfère ici au fait de recommencer plusieurs fois une même expérience dans un même contexte. Il est alors probable que toutes les réplifications ne donnent pas le même résultat du fait des facteurs « non maîtrisables » du système. Dans notre cas cette différence est assurée par la génération de nombre pseudo-aléatoire qui est réalisée pour chaque réplification à partir d'une racine différente. Cette dispersion des résultats est observée autour d'une moyenne avec un certain écart-type (noté  $\sigma$ ).

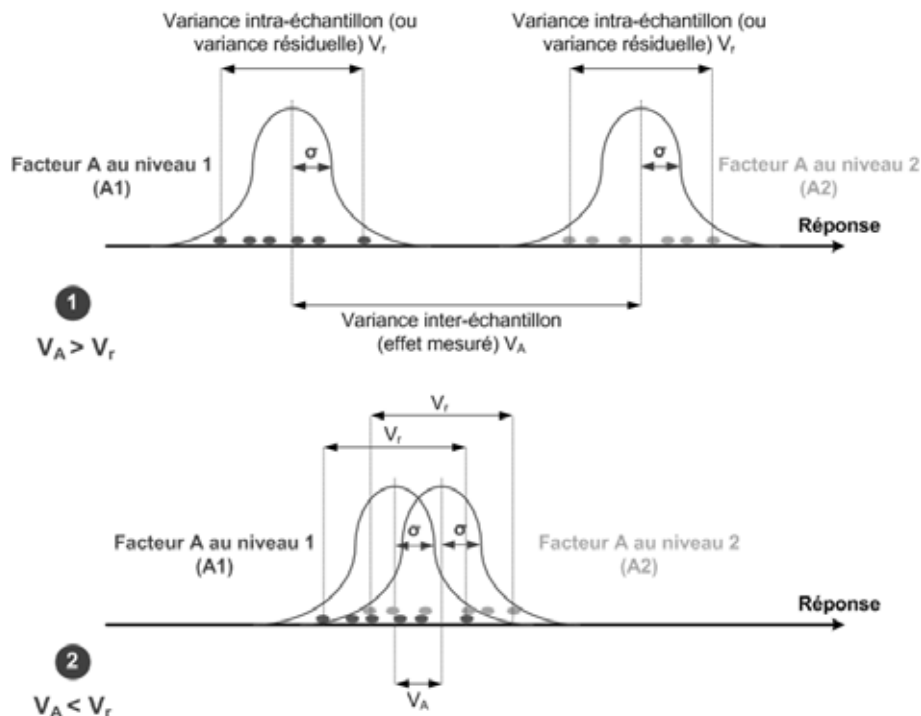


Figure 4.43 : Illustration du principe de variance (inspirée de (Pillet, 1997))

Pour le cas d'un plan à 1 facteur à k niveaux, notons :

- $n$  : nombre de réplifications par niveau ;
- $Y_{ij}$  : valeur de la jème réplification de l'expérience au niveau i ;
- $\bar{Y}_i$  : moyenne des réplifications pour le niveau i ;
- $M$  : moyenne de l'ensemble des réponses (moyenne des  $\bar{Y}_i$ ) ;
- $N$  : nombre total de réplifications ( $= k \times n$ ) ;
- $E_i$  : effet du facteur au niveau i ( $E_i = \bar{Y}_i - M$ ) ;
- $r_{ij}$  : résidu qui représente les variations non expliquées par le facteur étudié ( $r_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i$ ).

La variance globale est calculée grâce à la formule classique de la variance où les N essais sont considérés :

$$V_T = \frac{\sum (Y_{ij} - M)^2}{N - 1} = \frac{Q_T}{\nu_T} \quad (4.45)$$

où  $\nu_T$  représente le nombre de degrés de liberté ( $\nu_T = N - 1$ )

La variance résiduelle (variance à l'intérieur de l'échantillon) est calculée suivant la formule suivante :

$$V_r = \frac{\sum (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{k \times (n - 1)} = \frac{\sum r_{ij}^2}{\nu_r} \quad (4.46)$$

où  $\nu_r$  représente le nombre de degrés de liberté ( $\nu_r = k(n - 1)$ )

La variance entre échantillons est calculée suivant la formule suivante :

$$V_A = \frac{n \times \sum (\bar{Y}_i - M)^2}{k - 1} = \frac{n \times \sum E^2}{\nu_A} \quad (4.47)$$

où  $\nu_A$  représente le nombre de degrés de liberté ( $\nu_A = k - 1$ )

Si le facteur n'est pas influent, alors les moyennes des différents essais seront très proches. La variance entre échantillons sera donc faible par rapport à la variance résiduelle. Pour conclure sur la significativité d'un facteur il faut tester si  $V_A$  est du même ordre de grandeur que  $V_r$  ou s'il est significativement différent. Ceci est réalisé au moyen du test de Fisher-Snedecor

Le but ici est de donner une rapide explication sur le test de Fisher-Snedecor et nous renvoyons vers (Pillet, 1997) et tout autre ouvrage spécialisé pour plus de détails. Snedecor a montré que le rapport suit une loi de F à  $\nu_A$  et  $\nu_r$  degrés de liberté si le facteur n'influe pas sur les résultats de mesure. Snedecor a tabulé cette loi pour différents niveaux de confiance (1%, 5%). Les degrés de liberté  $\nu_A$  et  $\nu_r$  sont les clés de lecture de ces tables. Le principe du test repose sur une double évaluation du rapport  $V_A/V_r$  :

- une évaluation théorique par lecture de la table ( $F_{\text{theo}}$ ) ;
- une évaluation expérimentale ( $F_{\text{exp}}$ ) par les formules présentées ci-dessus.

L'effet du facteur est alors significatif si  $F_{\text{exp}} > F_{\text{theo}}$ .

Notons que la démarche est similaire pour les interactions. Il est alors possible de conclure sur la significativité de chacune d'elle et d'évaluer leur effet (le cas échéant) de la même manière que l'effet de chaque facteur a été caractérisé.

### 4.2.3 Illustration

Dans cette partie nous nous proposons d'illustrer l'utilisation de l'analyse statistique pour valider la significativité des facteurs d'un plan d'expérience donné. Les données (résultats d'expériences) qui nous ont servi pour bâtir cette illustration sont issues d'une étude plus globale d'un protocole de collaboration particulier : le Vendor Managed Inventory (VMI) ou Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA) (Marquès et al., 2009b). Nous commencerons donc par présenter l'étude de cas en décrivant les expériences et leur contexte (§4.1.3.1). Puis, dans une seconde partie, nous utiliserons une partie des résultats de simulation pour illustrer la mise en œuvre d'un test de Fisher-Snedecor (§4.1.3.2).

#### 4.2.3.1 Présentation de l'étude

Dans cette étude, la chaîne considérée (Figure 4.44) est constituée d'un fournisseur (1 site) et d'un client (2 sites) respectivement appelés acteurs A1 et A2, où :

- le site 1 du client fabrique les produits P11, P12 et P13 à partir respectivement des composants CP1, CP2 et CP3 (coefficient de nomenclature égal à 1) sur une même unité de production en flux tiré. Tous les produits ont un délai d'obtention de 2 semaines ;
- le site 2 du client fabrique les produits P21, P22 et P23 à partir respectivement des composants CP1, CP2 et CP3 (coefficient de nomenclature égal à 1) sur une même unité de production en flux tiré. Tous les produits ont un délai d'obtention de 2 semaines ;
- le fournisseur fabrique les composants CP1, CP2 et CP3 à partir d'une seule et même matière première C sur une même unité de production en flux poussé avec un délai d'obtention de 12 semaines ;
- tous les délais de transport sont considérés comme inférieurs à la semaine (période élémentaire dans cette étude).

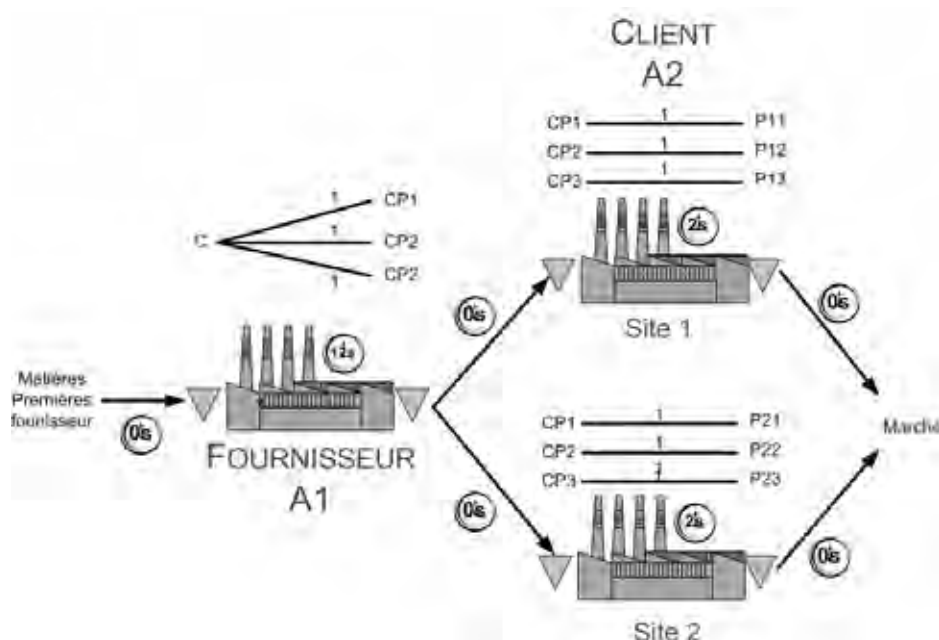


Figure 4.44 : Chaîne logistique étudiée (validation statistique des résultats)

Cette situation correspond à un cas où la limite aval se situe entre deux rangs d'acteurs. L'aval correspond à un marché caractérisé par une demande représentée comme une loi normale. Le marché exprime des commandes réelles et prévisionnelles pour chacun des six produits finis du client. A l'état initial, les six produits se partagent équitablement un marché défini par une demande moyenne de 250000 produits par semaine avec un écart-type de 20% autour de cette moyenne.

Le plan d'expériences est composé des facteurs suivants :

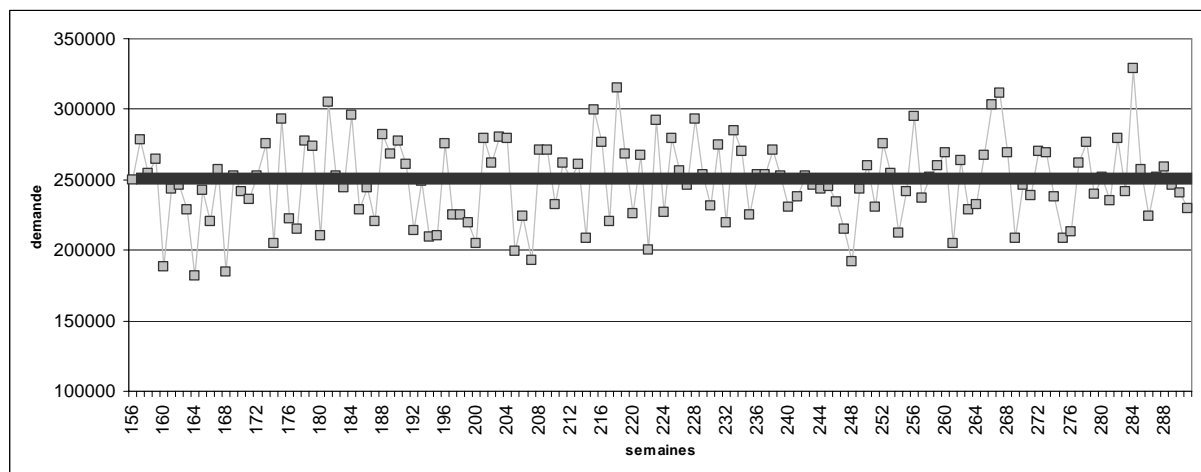
Facteurs	Niveaux	Remarques
Couverture produits finis fournisseur	0,3; 0,4	Exprimé en nombre de semaines
Périodicité du processus LA	4 ; 8 ; 12 ; 24	Logistical Agreement : processus qui permet la mise à jour des niveaux min/max
Calcul min	0,05; 0,1 ; 0,15	Ils s'effectuent à partir des plans de besoins bruts de composants long terme du client auxquels sont appliqués des coefficient de couverture. Les comportements associés seront donc ici le choix parmi les valeurs de coefficients à utiliser
Calcul max	0,2; 0,3	
$\alpha$	0; 0,5 ; 1	Comportement du fournisseur vis à vis du degré de liberté que représente l'intervalle min/max. Il est traduit par une valeur visée dans l'intervalle

**Tableau 4.7 : Facteurs du plan d'expériences et niveaux associés**

La simulation a été effectuée au travers des modèles LogiRisk avec une répartition du plan d'expériences sur 8 machines en réseau et a nécessité une nuit de calcul. Chacun des scénarios a été répliqué sur 10 racines différentes.

La Figure 4.45 illustre la demande qui a été générée. Le trait aux premiers plan correspond à la tendance perçue par les acteurs. Le « bruit » autour de celles-ci représente la demande réelle exprimée par la partie aval de la chaîne.

Afin d'éviter des perturbations dues à l'initialisation du système ainsi qu'à des « effets de bord » dus au modèle sur la fin de simulation, nous avons simulé toutes les expériences sur 360 périodes et avons centré l'analyse sur l'intervalle [156;291].



**Figure 4.45 : Demande générée par la partie aval de la chaîne étudiée**

Pour la fenêtre d'analyse, chaque scénario a été évalué suivant cinq indicateurs de performance :

- Rupture marché : correspond à une non livraison d'une commande exprimée par l'aval ;
- Stock produits finis client : somme des stocks tout produits confondus ;
- Stock matières premières client : sommes des stocks toutes références confondues ;
- Rupture atelier client : somme, tout produits confondus, des lancements en production qui n'ont pu être effectués faute de matière première
- Stock produits finis fournisseur : somme des stock tout produits confondus.

#### 4.2.3.2 Illustration de l'utilisation d'un test statistique

Le Tableau 4.8 donne les résultats des tests de variance (test Fisher-Snedecor à 0,05) pour la période observée pour les différents facteurs sur chacun des indicateurs suivis. Ce test permet de comparer les variances d'échantillons afin de savoir si l'effet mesuré est un effet du facteur contrôlé où s'il provient de facteurs non contrôlés (voir **Erreur! Source du renvoi introuvable.**). Les valeurs  $F_{exp}$  et  $F_{theo}$  expriment deux façons de calculer le rapport entre variance entre échantillons et variance résiduelle (variance à l'intérieur d'un échantillon) : un calcul théorique  $F_{theo}$  donné par la table de Snedecor à 0,05 et un calcul expérimental  $F_{exp}$  basé sur le calcul des variances à partir de résultats d'expériences. L'effet du facteur (respectivement de l'interaction) est jugé significatif si  $F_{exp} > F_{theo}$ .

	Couverture produits finis fournisseur			alpha			Calcul min		
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?
Rupture_marche	126,37	3,85	YES	71,82	3	YES	11,40	3	YES
Stock_PF_Client	55,52	3,85	YES	34,29	3	YES	5,09	3	YES
Stock_MP_Client	327,37	3,85	YES	25 832,44	3	YES	2 773,42	3	YES
Rupture_Atelier_Client	241,67	3,85	YES	147,27	3	YES	21,98	3	YES
Stock_PF_Fournisseur	346,65	3,85	YES	2,04	3	NO	0,22	3	NO
	Calcul max			Périodicité du processus LA					
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?			
Rupture_marche	16,12	3,85	YES	1,62E-09	2,61	NO			
Stock_PF_Client	8,66	3,85	YES	1,78E-09	2,61	NO			
Stock_MP_Client	8 827,81	3,85	YES	0,01	2,61	NO			
Rupture_Atelier_Client	36,80	3,85	YES	4,56E-10	2,61	NO			
Stock_PF_Fournisseur	0,65	3,85	NO	0,00	2,61	NO			

**Tableau 4.8 : Conclusion sur la significativité des facteurs du plan d'expérience sur la période observée**

Le Tableau 4.9 expriment le même types de résultats mais pour les interactions entre facteurs.

	Couverture produits finis fournisseur / alpha			Couverture produits finis fournisseur / calcul min			Couverture produits finis fournisseur / calcul max		
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?
Rupture_marche	2,63	3	NO	0,26	3	NO	0,81	3,85	NO
Stock_PF_Client	0,64	3	NO	0,13	3	NO	0,14	3,85	NO
Stock_MP_Client	12,21	3	YES	1,64	3	NO	3,17	3,85	NO
Rupture_Atelier_Client	2,96	3	NO	0,56	3	NO	0,63	3,85	NO
Stock_PF_Fournisseur	0,01	3	NO	0,00	3	NO	0,00	3,85	NO

Couverture produits finis fournisseur / Périodicité du processus LA			
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?
Rupture_marche	9,44E-11	2,61	NO
Stock_PF_Client	6,81E-11	2,61	NO
Stock_MP_Client	3,76E-05	2,61	NO
Rupture_Atelier_Client	1,52E-10	2,61	NO
Stock_PF_Fournisseur	4,26E-07	2,61	NO

	alpha / calcul min			alpha / calcul max			alpha / Périodicité du processus LA		
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?
Rupture_marche	4,52	2,38	YES	4,46	3	YES	3,84E-10	2,1	NO
Stock_PF_Client	1,98	2,38	NO	2,56	3	NO	2,34E-10	2,1	NO
Stock_MP_Client	911,69	2,38	YES	2 976,15	3	YES	0,00054311	2,1	NO
Rupture_Atelier_Client	8,60	2,38	YES	10,86	3	YES	2,16E-10	2,1	NO
Stock_PF_Fournisseur	0,08	2,38	NO	0,21	3	NO	6,17E-06	2,1	NO

	calcul min / calcul max			calcul min / Périodicité du processus LA		
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?	Fexp	Ftheo	significatif?
Rupture_marche	0,01	3	NO	2,71E-11	2,1	NO
Stock_PF_Client	0,00	3	NO	5,05E-12	2,1	NO
Stock_MP_Client	0,02	3	NO	6,69E-05	2,1	NO
Rupture_Atelier_Client	0,01	3	NO	2,09E-11	2,1	NO
Stock_PF_Fournisseur	0,00	3	NO	7,59E-07	2,1	NO

calcul max / Périodicité du processus LA			
Indicateurs	Fexp	Ftheo	significatif?
Rupture_marche	1,41E-10	2,61	NO
Stock_PF_Client	1,86E-10	2,61	NO
Stock_MP_Client	0,00016614	2,61	NO
Rupture_Atelier_Client	4,47E-11	2,61	NO
Stock_PF_Fournisseur	1,89E-06	2,61	NO

**Tableau 4.9 : Conclusion sur la significativité des interactions entre facteurs du plan d'expérience sur la période observée**

Dans cet exemple, l'analyse permet une conclusion forte sur le « non effet » de la périodicité du processus LA sur ces indicateurs de performance. Ce résultat s'explique par la modélisation actuelle d'un processus LA. Dans le modèle, il est possible de considérer que la détermination des niveaux min et max est imposée par un client puissant (puisque le modèle récupère directement les besoins bruts long terme client). Il n'y a pas de négociation. L'objectif dans le futur sera donc de développer la facette tactique de ce protocole et donc le rôle du processus LA. Cela passera par l'introduction d'une forme de négociation qui pourra être inspirée des travaux de (Dudek and Stadtler, 2005)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Dans leurs travaux, (Dudek and Stadtler, 2005) traite de la négociation entre acteur sur les processus de planification. Ils proposent une négociation à base d'échanges successifs où ils forcent la convergence des points de vues (la capacité de remise en question du plan diminue après chaque réponse)

Nous pourrions également conclure sur le peu d'interactions entre les facteurs étudiés. Seuls les interactions concernant les facteurs liés aux comportements dans l'intervalle (min, max et alpha) sont significatifs.

## 5 Conclusion et discussion

La démarche de modélisation présentée au chapitre 2 décrit trois états déduits successivement du système réel : un modèle représentatif (par abstraction), un modèle de simulation et enfin l'instanciation par un ou plusieurs décideurs pour analyse. Le présent chapitre a permis de décrire les deux premiers : le modèle représentatif, basé sur une modélisation distribuée (à base d'agents) des processus de planification des acteurs d'une chaîne logistique, et le modèle de simulation, basé sur un déroulement centralisé de chaque expérience.

Dans sa version actuelle, LogiRisk permet de représenter et simuler trois aspects principaux du management des chaînes logistiques :

- des comportements d'acteurs dans leur façon de choisir et de mettre en œuvre leurs processus de planification (long et moyen terme) et qui influent sur la performance des relations ;
- des protocoles entre acteurs qui cadrent les échanges d'informations entre les partenaires (commandes classiques, kanban, VMI ou engagement d'approvisionnement) ;
- des aléas qui agissent comme des sources de perturbation pour la chaîne observée. Ces perturbations peuvent toucher à la fois le marché (prévision ou demande réelle) et les processus physiques des acteurs (pannes, rebuts, retards).

Ces trois types d'éléments sont des facteurs qu'il est possible de faire varier afin de « tester » différentes situations. En permettant l'extraction d'un grand nombre de mesures à chaque périodes de simulation, l'outil actuel permet donc de mesurer la performance qu'engendreraient de telles décisions sur un système confronté à certains aléas (phase nommée exploitation de la chaîne en introduction de ce manuscrit). Plus qu'une performance à un instant donné, l'utilisation d'un modèle informatique permet d'agrandir l'horizon sur lequel sont prises les mesures de la performance et donc de caractériser l'aspect dynamique de celle-ci.

Néanmoins, l'appellation « comportement de décision » n'est pas anodine pour décrire les capacités actuelles de l'outil. En effet, pour chaque scénario, lorsqu'un comportement de décision est défini, il reste toujours le même tout le long de la durée de simulation. Il n'y a pas de décision au sens propre pendant la simulation puisque les agents ne sont que des agents réactifs qui déroulent des procédures prédéfinies en amont de la simulation par les « comportements de décisions » et les protocoles. L'évolution vers des agents dotés de capacités cognitives pour pouvoir s'adapter en temps réel à la dynamique de la simulation fait partie des perspectives à donner aux présents travaux afin de mieux traduire la notion de degré de liberté pour un acteur dans notre modèle.

Une façon de corriger ce défaut est de multiplier les expériences en définissant chacune comme une manière de réagir à certains événements. Ceci pose donc la question de la définition des situations que le ou les décideurs souhaitent analyser. Mais surtout, cela ouvre la voie vers le problème de l'utilisation des résultats de simulations par ces derniers. Avec l'évaluation de situations pour mieux décider, nous entrons de plein pied dans une démarche de management des risques pour aider à la décision. Cela fait l'objet du prochain chapitre.

## RESUME

Ce chapitre présente l'outil de simulation de l'exploitation de la chaîne qui est au cœur de nos travaux : LogiRisk. Il reprend la structuration de notre démarche de simulation (présentée au chapitre 2) qui différencie deux modèles principaux : un modèle représentatif (abstraction de la réalité) et un modèle de simulation (transcription du modèle représentatif dans un outil informatique).

Le modèle représentatif est basé sur une modélisation distribuée des processus de planification des acteurs d'une chaîne logistique (à base d'agents) avec une gestion du temps par période. Les processus mis en jeu sont des heuristiques inspirées des processus MRPII classiques. L'analyse est centrée sur les processus moyen et surtout long terme (gestion des variations de la capacité de production, stratégie de production, couvertures de stock, lissage,...).

Le but étant de mesurer les performances induites par certains comportements (stocks, ruptures,...), les plans de productions, livraisons ou d'approvisionnements, qui sont générés, sont également projetés sur les processus de l'horizon opérationnel. Ces derniers sont vus de manière agrégée sous la forme de bilans à la période afin de déterminer les flux réels compte tenu des pannes, des retards et rebuts de production ou de transport.

Les caractéristiques de la partie aval de la chaîne jouent également un rôle majeur dans la performance des acteurs. Deux types de modèles aval ont été différenciés. Le premier est associé à un découpage cœur de modèle / aval entre deux rangs d'acteurs de la chaîne. Le modèle aval est alors en charge de la génération des commandes réelles et prévisionnelles reçues par les agents du cœur du modèle. Cette génération est basée sur une succession de tendances caractérisant des changements majeurs dans le comportement de la demande (croissance, saisonnalité,...). Parmi les paramètres de ce modèle, la notion de croyance traduit le décalage entre la date de changement réel de tendance et la date à partir de laquelle les acteurs la « voient ».

Le second type de modèle correspond à un découpage cœur de modèle / aval entre les fonctions « supply » et « production » d'un même acteur. Le rôle du modèle aval est alors de générer les besoins bruts de composants réels et prévisionnels que la fonction « supply » devra traiter de manière détaillée. Cela a conduit à une représentation macroscopique des sources de perturbations d'un plan de besoins bruts (lissage, sous-traitance, marché, ordonnancement,...).

Le modèle de simulation est, lui, centralisé. Il est basé sur le principe d'une évolution des états des objets par événements discrets orienté par période. Cela permet une transcription directe du modèle représentatif (gestion du temps par période). Il permet le traitement d'un plan d'expériences. Pour chaque expérience, deux grands types de données doivent lui être fournies : des données descriptives de la chaîne, partagées par toutes les expériences, et des données descriptives du plan d'expériences, qui décrivent spécifiquement chaque expérience (facteurs du plan). Si chaque expérience est traitée de manière centralisée, l'outil autorise un traitement de plan d'expériences sur plusieurs machines.

Pour chaque expérience, un objet gestionnaire est créé. Il est en charge de la gestion de l'avance du temps et de la pile d'événements à traiter. Ces événements sont des ordres de déclenchement de processus qui doivent être exécutés par les objets acteurs. Ces derniers ont à disposition un certain nombre d'objets supports qu'ils utilisent au besoin pour réaliser les différents processus de planification demandés. En sortie, l'utilisateur récupère un fichier au format csv, où figurent, pour chaque date de simulation, les valeurs pour tous les indicateurs de performance suivis pendant la simulation (ruptures, stocks, livraisons, réceptions, demandes, capacité, production,...). Des outils ont également été développés pour permettre de valider le modèle de simulation qui produit ces résultats : des indicateurs pour pouvoir comparer données réelles et expérimentales (validation vis à vis du système réel) et une analyse de la variance pour valider les objectifs d'analyse (significativité des facteurs suivis).





# Chapitre 4

## La simulation au cœur d'une démarche de management des risques pour la gestion de la collaboration

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>162</b>
<b>2</b>	<b>MODELISATION DU PROCESSUS DE DECISION.....</b>	<b>164</b>
2.1	MODELE REPRESENTATIF .....	164
2.1.1	<i>Arbres et critères non probabilistes : outils de représentation.....</i>	<i>164</i>
2.1.2	<i>Choix d'abstraction.....</i>	<i>164</i>
2.1.3	<i>Vers des arbres de décisions multi-acteurs donc multi points de vues.....</i>	<i>165</i>
2.2	MODELE DE SIMULATION DU PROCESSUS DE DECISION .....	173
<b>3</b>	<b>DEMARCHE GLOBALE D'AIDE A LA DECISION POUR LE MANAGEMENT DES RELATIONS INDUSTRIELLES 174</b>	
3.1	VUE GLOBALE DE LA DEMARCHE .....	174
3.2	DETAILS DE LA DEMARCHE.....	175
3.2.1	<i>Etape 1 : définition de la situation de décision.....</i>	<i>175</i>
3.2.2	<i>Etape 2 : évaluation des situations identifiées .....</i>	<i>176</i>
3.2.3	<i>Etape 3 : évaluation de la situation de décision .....</i>	<i>177</i>
3.3	REMARQUE SUR LE CARACTERE ITERATIF .....	178
<b>4</b>	<b>CONCLUSION ET DISCUSSION : QUELLE VALEUR POUR LES PRECONISATIONS REALISEES ? .....</b>	<b>179</b>
	<b>RESUME .....</b>	<b>181</b>

# **Chapitre 4**

## **La simulation au cœur d'une démarche de management des risques pour la gestion de la collaboration**

### **1 Introduction**

Limités mais indispensables ! Voilà ce que nous pourrions dire, aux termes des chapitres précédents, de toutes les représentations, modèles, techniques et autres méthodes utilisés plus ou moins consciemment pour comprendre et anticiper un futur qui se veut incertain afin d'en tirer un maximum de valeur. La notion de valeur est ici employée au sens large et peut être aussi bien financière, éthique, morale, temporelle,... Pour une même action, une même décision, cette pluralité des sens témoigne en fait de la diversité des attentes de chacun.

Après s'être attachés à représenter et simuler la chaîne logistique, il s'agit désormais de se pencher sur la modélisation du processus de décision associé à la définition des coopérations à l'intérieur de celle-ci (appelé phase de paramétrage de la chaîne en introduction de ce mémoire). Le système réel analysé est donc par définition multi-acteur et intègre cette diversité des objectifs de performance poursuivis et des comportements vis à vis de l'incertitude des différentes parties prenantes.

Tout modèle est imparfait, tant mieux !

La phrase se veut volontairement provocatrice soutenant l'idée qu'un ensemble de modèles imparfaits représentent une source riche et indéniable de solutions pour traiter le problème de la représentation des attentes disparates et limitées des décideurs. La littérature regorge de modèles pour aider à des problématiques particulières des acteurs de la chaîne (chapitres 1 et 2). Simples ou sophistiqués, prenant en compte ou non des données incertaines, la diversité des modèles permet de s'adapter à un grand nombre de problématiques propres à chaque acteur et souligne la nécessité d'« individualiser » l'analyse.

A l'heure où les entreprises se veulent de plus en plus coopérantes, coordonnées, collaboratives ou interopérables voire même intégrées<sup>1</sup>, il y a un besoin de développer l'aide à la décision en amont de la phase d'exploitation, c'est à dire en matière de définition des relations à l'intérieur de la chaîne. Si le management au quotidien reste souvent de l'ordre d'une somme d'optimisations et/ou de réponses à des problèmes individuels à chacun des acteurs, la définition des modes de fonctionnement entre acteurs nécessite un certain degré de prise en compte de l'autre et voire

---

<sup>1</sup> Le but ici n'est pas de relancer le long débat sur les définitions de chacun de ces termes. Il s'agit plutôt de citer tous ces termes, aujourd'hui « à la mode », relatifs à la conception moderne de la « Logistique » comme vision inter-organisationnelle de la chaîne où la performance individuelle de chaque acteur passe par une intégration des objectifs globaux de la chaîne dans le pilotage individuel (voir introduction générale de ce manuscrit).

même des autres dans l'évaluation des futurs possibles. La tension des flux physiques, informationnels et financiers a conduit à une vulnérabilité de chaque acteur vis à vis des agissements de ses partenaires. A l'image des stratégies de « développement fournisseurs » mis en place par des grands groupes tels que Airbus ou Pierre Fabre, les acteurs de la chaîne prennent, depuis quelques années, conscience de l'importance des décisions prises par les partenaires ainsi que des aléas qui touchent ces derniers. La gestion de la collaboration n'est donc plus une simple affaire de protocole, mais une question de cohérence entre protocoles (processus de décisions partagés), comportements (processus de décision individuels) et aléas. Le décideur (ou groupe de décideurs) en charge du management de la coopération est donc face à une situation complexe caractérisée par :

- une question centrale, qui constitue la décision (appelée décision principale) à prendre. Elle est définie par un choix entre différentes alternatives (protocole(s) ou comportement(s)) ;
- des aléas définis par un certain niveau d'incertitude quant à leur occurrence et leur(s) impact(s) sur le système piloté par le décideur et/ou ceux des partenaires ;
- un ensemble d'autres décisions qui incombent au décideur (resp. au groupe de décideurs) concernant des comportements internes ou un (des) protocole(s) ;
- un ensemble d'autres décisions qui doivent être prises par d'autres décideurs (ou groupe de décideurs) avec leurs propres perceptions des aléas possibles et leurs propres objectifs et qui pourraient avoir des conséquences sur l'impact de la décision principale à prendre.

Mais pourtant, il faut décider !

Cette obligation de décision est une hypothèse que nous faisons. Même si, comme nous l'avons vu au chapitre 1, l'absence de décision est une forme de décision, nous posons ici que toutes les décisions considérées (comportements ou protocoles) sont associées à un ou plusieurs choix possibles et que l'indécision ne peut être un de ces choix. Dans ces travaux, nous proposons d'apporter une aide, un support au processus de décision associé à cette phase de paramétrage de la chaîne. Par conséquent, ce processus de décision doit être décrit et compris afin d'en anticiper les comportements.

Description, anticipation... Au travers de ces mots, nous entrons clairement dans une démarche de modélisation telle que décrite dans le chapitre 2 et utilisée pour modéliser la chaîne logistique en phase d'exploitation. L'objectif du présent chapitre est alors double. D'abord, il doit permettre de présenter les modèles représentatif et de simulation d'un tel système (le processus de décision). A ce stade, nous disposerons de deux outils de simulation, un de la chaîne (LogiRisk, présenté au chapitre 3), l'autre du processus de définition de ses relations (Trisk, présenté dans ce chapitre). Le second objectif sera de présenter une démarche générale intégrant l'exploitation, c'est à dire les phases d'analyse<sup>1</sup>, de chacun des deux outils.

Dans la section 2, nous commencerons donc par présenter les modèles utilisés pour représenter et simuler le processus de définition des relations d'une chaîne logistique (Trisk). La section 3 sera, elle, consacrée à la démarche globale d'utilisation des modèles présentés dans ce mémoire (modèle de la chaîne logistique et celui du processus de définition de ses relations).

---

<sup>1</sup> Ici, nous faisons référence à la figure 3.4 du chapitre 2 (section 2.3)

## 2 Modélisation du processus de décision

Cette section est consacrée à notre démarche de modélisation du processus de décision auquel nous souhaitons apporter une aide. Elle présente donc les modèles représentatif et de simulation du processus de décision associé au management de la coopération dans une chaîne logistique (l'outil de simulation a été nommé « Trisk »).

Pour rappel, ce management de la coopération dans une chaîne ne signifie pas l'introduction d'une approche de planification centralisée pour tous les acteurs. Dans ces travaux, nous avons fait plutôt l'hypothèse qu'il consiste à choisir les protocoles à mettre en place entre les différents acteurs et à adapter les comportements internes de chacun (ou inversement). De plus, il doit tenir compte d'un contexte marqué par l'apparition d'aléas caractérisés par un manque de connaissance pour les caractériser (vraisemblance et conséquence). Les aléas qui nous ont intéressés jusqu'ici concernent principalement des variations sur la demande (réelle ou prévisionnelle) et des perturbations ponctuelles du flux physique telles que des pannes, des retards ou des rebuts<sup>1</sup>.

### 2.1 Modèle représentatif

#### 2.1.1 Arbres et critères non probabilistes : outils de représentation

La démarche de modélisation pour la simulation présentée au chapitre 2 débute par la représentation du système réel. Celle-ci est obtenue au travers d'une démarche d'abstraction pouvant mettre en œuvre une combinaison plus ou moins complexe de principes d'abstractions présentés au chapitre 2 (omission, agrégation...). Ce système réel est ici le processus de décision relatif au management des relations à l'intérieur de la chaîne logistique. Sa représentation repose sur l'utilisation de deux éléments de description de la décision présentés au chapitre 1 :

- les arbres de décisions. Pour rappel, ils reposent sur l'identification de décisions et d'aléas qui constituent les nœuds de l'arbre. Chaque scénario possible, c'est à dire chaque chemin de l'arbre est caractérisé par une évaluation portée par une feuille de l'arbre.
- les critères non probabilistes tirés de la théorie de la décision : Laplace<sup>2</sup>, Wald (maximin) et Hurwitz, afin d'intégrer la prise en compte de l'incertitude dans la démarche intellectuelle qui aboutie à la décision. Ces critères sont justifiés par notre positionnement : nous cherchons à aider des décideurs qui ne savent (peuvent) pas donner une répartition de probabilité même subjective pour caractériser les risques de leur situation de décision.

#### 2.1.2 Choix d'abstraction

Ces deux éléments sont deux moyens d'interprétation, c'est à dire d'abstraction du système de décision réel. L'un comme l'autre introduisent une « distance » entre le modèle ainsi obtenu et le processus de décision réel.

L'arbre de décision traduit « un » déroulement du processus de décision en établissant l'ordre d'apparition des aléas et des décisions. Au travers des arbres, nous choisissons donc de voir ce processus comme un ensemble de « décisions séquentielles » caractérisé par une évolution de la connaissance des décideurs (des décisions sont prises et des aléas se réalisent au cours du temps). A ce stade d'avancement de nos travaux, nous ne traitons qu'un seul cas de décisions

<sup>1</sup> Ces sources de risques peuvent être qualifiées de « déviations » dans la classification proposée par Gaonkar et Viswanadharn (2007) et présentée au chapitre 1

<sup>2</sup> Le principe de « raison insuffisante » qui est à la base de ce critère et qui rend « équiprobable » toutes les options possibles peut nuancer l'emploi du terme « critères non probabilistes ».

simultanées : le cas de décisions portées par un même acteur et prise sur la base d'un même critère de performance<sup>1</sup>. Dans cette situation particulière, nous pouvons alors ramener ces  $n$  décisions simultanées portant chacune sur un levier de décision particulier à une seule et même décision portant sur  $n$  leviers. Au travers de la description d'un arbre, certaines décisions ou événements peuvent donc être volontairement « omises » ou « agrégées » car jugés peu influants sur les indicateurs évalués.

D'autre part, l'utilisation de critères tirés de la théorie de la décision est un moyen pour représenter la « logique » poursuivie par les décideurs. Elle aboutit à des processus déterministes ou stochastiques à partir de processus qui ne le sont pas forcément (voir le débat sur les biais du jugement au chapitre 1).

### **2.1.3 Vers des arbres de décisions multi-acteurs donc multi points de vues**

Toutes les décisions d'un arbre de décision appartiennent habituellement à un seul et même décideur (ou groupe de décideurs). Avec cette hypothèse, toutes les décisions portées par d'autres décideurs sont vues comme des aléas sur lesquels le décideur ne peut rien (abstraction par transformation « determinist to stochastic »). Comme tout autre aléa, une distribution de probabilité doit alors être fournie pour chacune des options du nœud. Ces probabilités traduisent alors sa vision (objective ou subjective) sur la chance d'apparition de chaque possibilité des différents aléas. Pour chaque décision, il cherche alors à maximiser une valeur généralement égale au produit de la mesure associée à la branche par sa probabilité (voir chapitre 1 pour une description plus détaillée de ce fonctionnement « nominal »).

Notre démarche repose sur une double constatation :

- d'une part, il existe certaines situations où il est difficile, voire impossible, de fournir une distribution de probabilité ;
- d'autre part, cette interprétation (abstraction) des décisions des autres acteurs qui recourt aux probabilités, nie complètement l'appartenance des autres décideurs à un monde marqué par l'incertitude et leur attitude vis à vis de celle-ci. En d'autres termes, en « probabilisant » les issues possibles de leurs décisions, nous « omettons » que celles-ci peuvent être prise au travers d'une démarche « raisonnée » qui intègre une certaine perception individuelle de la performance recherchée mais surtout une attitude particulière face au risque. Tous ne cherchent donc pas l'atteinte de même objectif et tous n'ont pas la même vision du risque.

Par conséquent, le modèle que nous proposons traite, de manière non probabiliste, des arbres de décisions multi-acteurs et aborde la multiplicité des points de vue sur deux dimensions :

- une individualisation du (ou des) indicateur(s) de performance observé(s) ;
- une individualisation des critères de décision utilisés. Notons qu'un même décideur peut juger des aléas avec un critère différent ;

Si la décision centrale appartient à un décideur (ou groupe de décideur) particulier (nommé ici décideur principal), les décisions des autres décideurs (ou groupes de décideurs) ne sont pas représentées comme des aléas mais comme des décisions. Ce modèle se place alors dans un cadre d'utilisation donné où :

- le décideur principal est capable d'émettre sa vision sur la façon de décider des autres décideurs. Pour chacune des décisions (les siennes et celles des autres) il est en mesure d'exprimer :

---

<sup>1</sup> Ce critère peut être constituer d'1 à  $n$  indicateurs de performance mais reste le même pour toute les décisions « simultanées »

- le critère de performance sur lequel la décision doit être prise. Ceci implique que chaque feuille de l'arbre ne porte plus un indicateur mais un vecteur d'indicateurs et que chaque décision peut être prise à partir d'un sous ensemble particulier de ces indicateurs (de un à tous) ;
- le critère de décision utilisé pour juger chaque aléa associé à la décision.
- le décideur principal est capable de définir au moins une séquence de décision(s)-aléa(s). Il fait donc l'hypothèse que les autres ont la même vision que lui de cette séquence.

### 2.1.3.1 Structure du processus de décision

Nous avons choisi de procéder à la définition d'un tel arbre de décision en deux temps. D'abord, le décideur définit la « structure du processus de décision » qui doit permettre de représenter toutes les hypothèses sur le processus de décision. Cette structure est ensuite développée pour découvrir l'ensemble des branches et feuilles de l'arbre.

Un exemple de structure est donné dans la Figure 5.1.

Compte-tenu du cadre d'utilisation du modèle défini plus haut, une structure de processus de décision comprend :

- les ensembles d'indicateurs à partir desquels chaque décision sera prise par chacun des décideurs (resp. groupes de décideurs) ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  et  $I_4$  dans l'exemple);
- l'ensemble des décisions ( $D1$ ,  $D2$  et  $D3$  dans l'exemple) et aléas ( $A1$  et  $A2$ ) pris en compte dans le processus global. La structure se lit de gauche à droite. Ce sens de lecture reflète le déroulement des décisions et des aléas dans le temps. Au moment de prendre une décision, le décideur associé à celle-ci (Act 1 ou Act 2 dans l'exemple) connaît exactement les choix de décisions et les déroulements des aléas passés (à gauche de la décision). En revanche, il n'a qu'un certain niveau d'information sur les choix et les déroulements futurs (à droite) qui n'ont pas encore eu lieu. Plusieurs cas peuvent être envisagés :

Séquence	Lecture	Signification
Décision_1 → Décision_2	La décision 1 précède la décision 2	La décision 1 sera prise sachant que la décision 2 s'adaptera à son choix
Aléa_1 → Aléa_2	l'évaluation de l'aléa_1 dépend de celle de l'aléa_2	Le décideur peut évaluer différemment ces deux aléas. Il considère que l'évaluation de l'aléa_1 ne dépend que des situations jugées utiles après l'évaluation de l'aléa_2 (meilleur ou pire cas ou tous).
Décision → Aléa	La décision précède l'aléa	La décision anticipe l'occurrence potentielle de l'aléa. Elle sera maintenue quelque soit l'aléa .
Aléa → Décision	La décision succède à la survenue de l'aléa	La décision peut être adaptée suite à la survenue de l'aléa.

**Tableau 5.1 : Exemples de séquences possibles dans une structure de processus de décision**

- pour chaque décideur (resp. groupe de décideurs), et pour chaque aléa qui le suit dans la structure, le choix d'un critère de décision (Laplace, Wald, Hurwitz, MinMax Regret) qui traduit l'attitude du décideur face à cet aléa potentiel. Dans le modèle, nous proposons de séparer l'application de ces critères en deux temps répartis sur les nœuds de décisions et d'aléas :

- d'abord, l'application d'un *critère d'évaluation* des éventualités d'un aléa (moyenne pour Laplace, pire situation pour Wald, pondération de la meilleure et de la pire situation pour Hurwitz, plus grand regret pour MinMax Regret) ;
- ensuite, l'application d'un *critère de sélection* parmi les possibilités d'une décision (la meilleure évaluation pour les critères de Laplace, Wald et Hurwitz et le plus petit regret pour le critère MinMax regret).

Notons que nous n'abordons pas ici la possibilité de prise de décision simultanée par des acteurs : nous ne modélisons pas les stratégies de jeux entre les décideurs.

Notons au passage que si, pour un même décideur, deux décisions peuvent être prises chacune sur la base d'indicateurs de performance et de critères de décision différents, l'homme d'étude doit en revanche veiller à ce que la cohérence soit maintenue en ce qui concerne la vision d'un même aléa pour deux décisions portées par un même décideur.

Dans toute la suite, nous utiliserons les notations suivantes :

- $I$ , l'ensemble des indicateurs (notés  $I_1, I_2, I_3$  et  $I_4$  dans l'exemple) ;
- $\Delta$ , l'ensemble des décisions (notées D1, D2, D3 dans l'exemple) ;
- $\Theta$ , l'ensemble des critères d'évaluation ( $\Theta = [L_u, W_u^-, W_u^+, H_u, S_u]$ )<sup>1</sup> ;
- $A$ , l'ensemble des aléas (notés A1 et A2 dans l'exemple).

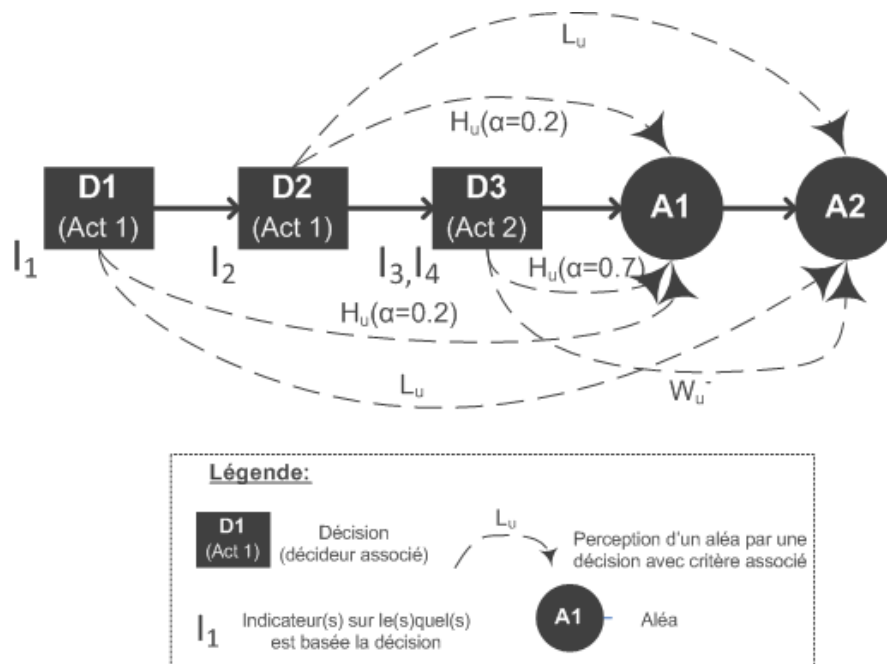


Figure 5.1: structure d'un processus de décision

<sup>1</sup> Ici, les notations  $L_u, W_u^-, W_u^+, H_u, S_u$  ne réfèrent pas aux critères complets tels que décrits dans la section 2.2 du chapitre 1 mais seulement au critère d'évaluation des situations de l'aléa (cf. décomposition critère d'évaluation, critère de sélection)



### 2.1.3.2 Dédution de l'arbre de décision

La seconde étape consiste à déduire l'arbre de décision  $T$  de cette structure, puis à la traiter. Celui-ci est composé d'un certain nombre de nœuds  $j$ . Dans le modèle, tous les nœuds sont caractérisés par un certain nombre d'attributs :

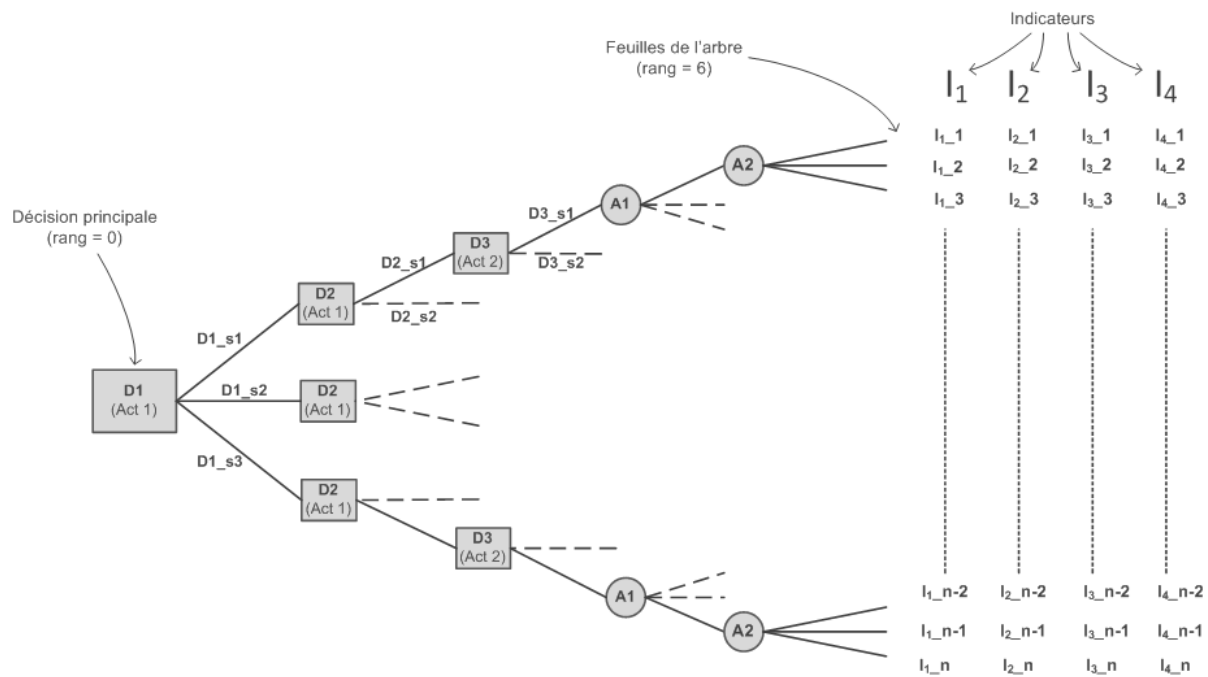
- le rang du nœud  $j$ ,  $\text{rang}(j) \in [0, R]$ .  $\text{rang}(j) = 0$  le nœud racine (la décision principale) et  $\text{rang}(j) = R$  pour les feuilles de l'arbre ;
- le type du nœud  $j$ ,  $\text{type}(j) \in [\text{'décision'}, \text{'aléa'}]$  ;
- l'ensemble  $S_j$  des possibilités  $s$  du nœud  $j$  et l'ensemble des nœuds fils associés  $\text{fils}_j(s)$  ;
- l'ensemble  $D_j$  des décisions  $d_k$  telles que  $k \in T$  et  $\text{rang}(k) \leq \text{rang}(j)$  (le nœud connaît toutes les décisions qui lui sont antérieures).  $\forall j \in T, D_j \subset \Delta$  ;
- l'ensemble  $U_j$  des évaluations d'utilité des nœuds fils du nœud  $j$ ,  $u_j(s, d)$ , où  $d \in D_j$  et  $s \in S_j$  ;
- l'ensemble  $M_d$  des mesures de performances  $m$ , utilisées pour chaque décision antécédente  $d \in D_j$  pour refléter l'intérêt du décideur en terme de conséquence(s) de la possibilité  $s \in S_j$  associé à chacune d'elles. La valeur associée est notée  $pm(s, d, m)$ , où  $m \in M_d \subset I$  ;
- l'ensemble  $W$  des poids  $w_\phi$  que le décideur associe à chaque mesure  $m \in M_d$  pour la décision  $d \in \Delta$ , tels que  $\forall m \in M_\phi, w_\phi(m) \in [0, 1]$ , et  $\sum_{m \in M_d} w_d(m) = 1$ .

Un nœud de chance est caractérisé en plus par les attributs suivants :

- l'ensemble des critères d'évaluation  $EC_j(d)$ , utilisés pour percevoir le nœud chance courant  $j$  par les différents nœuds de décisions précédents  $d \in D_j$  ;
- l'ensemble des critères  $cr \in \Theta$  définis pour chaque décisions  $d \in D_j$  qui permettent l'évaluation du nœud courant  $j$  à partir de l'évaluation des nœuds fils :  $EC_j(d) = cr_d(u_j(s, d))$   
 $s \in S_j$

Un nœud de décision est caractérisé en plus par l'attribut suivant :

- un critère de sélection  $SC_j \in \{\text{'Max'}, \text{'Min'}\}$ , qui permet de choisir parmi les possibilités (les branches) la meilleure situation.  $SC_j$  est défini comme une application qui sélectionne la meilleure branche et la retourne (une possibilité  $s$  parmi  $S_j$ ).



**Figure 5.2: Exemple d'arbre de décision construit**

L'arbre de décision ainsi construit (Figure 5.2) se veut représentatif d'une vision des décisions (individuelles et/ou collectives) et des aléas à prendre en compte pour le management des coopérations à l'intérieur de la chaîne.

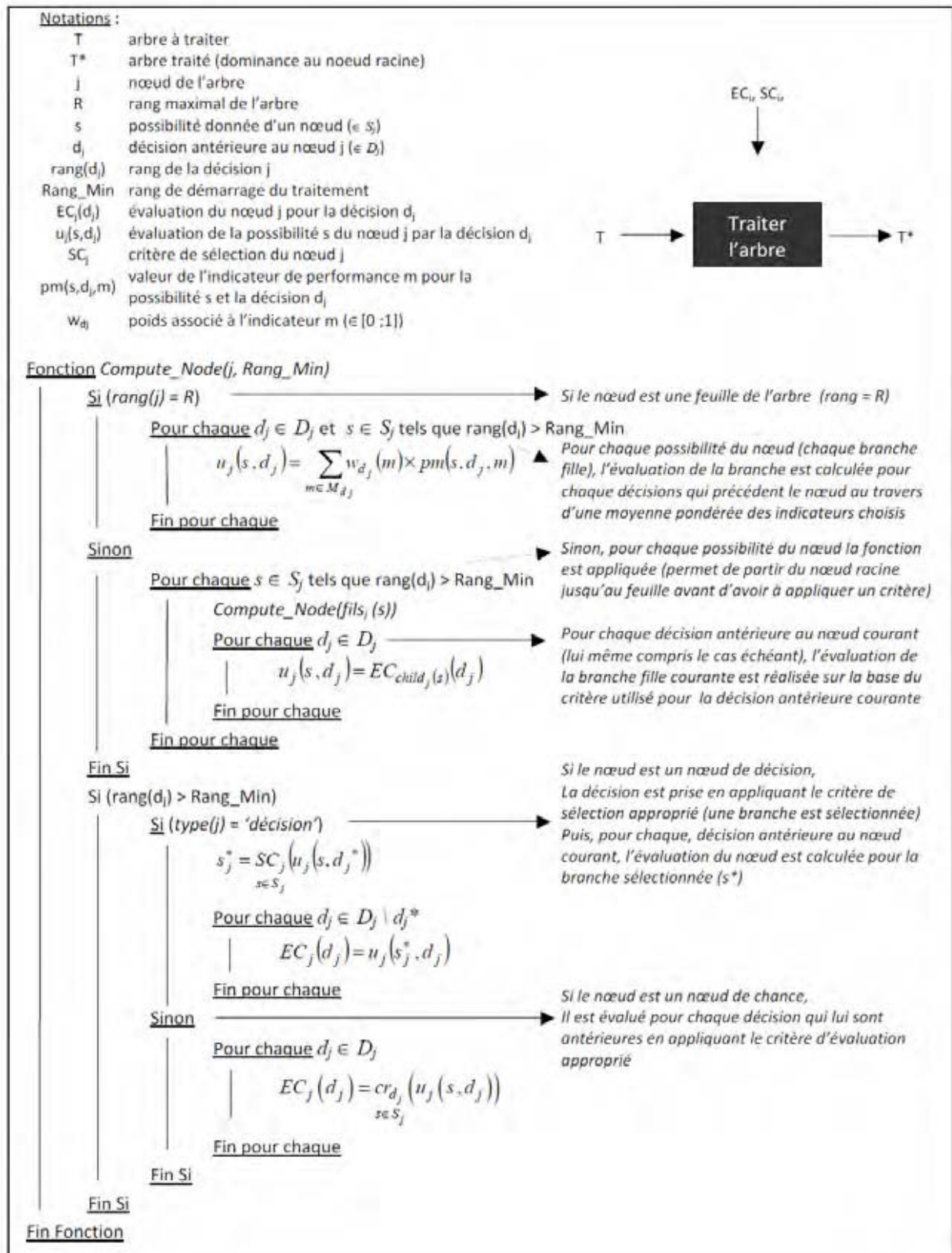
### 2.1.3.3 Traitement de l'arbre

L'objectif est ensuite de représenter la manière avec laquelle les décisions sont prises à l'intérieur de celui-ci. Le traitement de l'arbre est réalisé de droite à gauche par évaluations successives des différents nœuds et l'applications des différents critères définis pour chacun d'eux. Le traitement permet, au final, la mise en avant d'un choix « dominant » pour la décision principale et l'identification des choix à privilégier successivement pour toutes les autres décisions (futures) de l'arbre (branche en gras sur la Figure 5.5). Chaque décision choisie sera notée  $d_j^*$ . Le traitement s'effectue au travers de l'Algorithme 5.1.

Cet algorithme est appliqué au nœud racine. Il peut être décomposé en deux parties différenciées par les deux fonctions « Si » : « Si (Rang(j) > R) » (et sinon) et « Si (type(j) = 'decision') » (et sinon).

Dans la première, le but est de partir de la racine et de parcourir l'arbre jusqu'à arriver aux feuilles (puisque le traitement d'un arbre s'effectue en partant des feuilles). Nous pouvons parler d'algorithme récursif puisque la fonction est appelée à chaque nœud tant que les feuilles ne sont pas atteintes afin de pouvoir évaluer chaque possibilité, c'est à dire chaque branche fille, du nœud.

La seconde partie diffère suivant le type de nœud. S'il s'agit d'un nœud de décision, alors un critère de sélection ( $SC_j$ ) est appliqué afin de choisir parmi les possibilités (chacune ayant été évaluée). S'il s'agit d'un nœud de chance, alors un critère d'évaluation ( $EC_j$ ) est appliqué afin de définir une évaluation globale du nœud (considération de tout ou partie des possibilités du nœud en fonction du critère désiré). Ceci est réalisé pour chaque décision antérieure au nœud de chance, c'est à dire aux décisions qui doivent considérer l'aléa associé au présent nœud dans leur déroulement.



Algorithme 5.1 : traitement d'un arbre de décision (d'après (Marquès et al., 2010b))

Notons également la présence d'un attribut « *Rang\_Min* » à la fonction *Compute\_Node* (). Celui-ci a été ajouté afin de pouvoir utiliser le critère du MinMax Regret. Pour tous les autres, l'exploration de l'arbre peut être réalisée en une fois sur toute la profondeur et dans l'ordre des feuilles (nommée ici « exploration successive »), puisque chaque nœud de chance est uniquement évalué à partir des évaluations de ses branches. Ce mode de traitement destiné aux critères de Laplace, Wald et Hurwitz est illustré dans la Figure 5.3 sur un exemple d'une structure de type D1-E1-D2-E2 (chaque nœud possède deux possibilités).

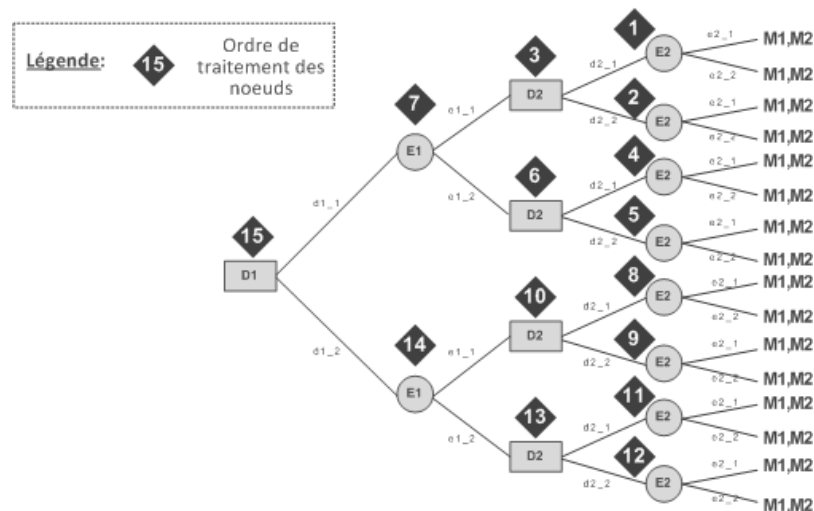
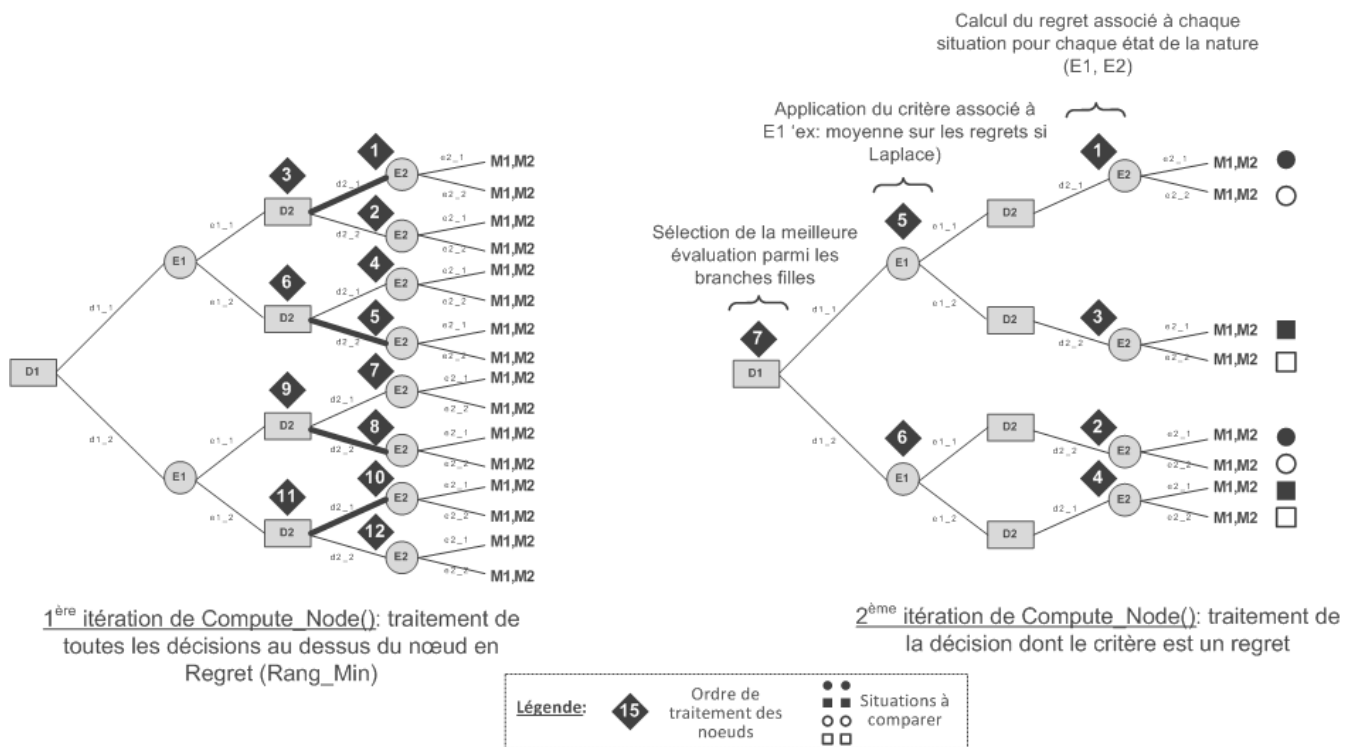


Figure 5.3 : Exemple d'exploration successive (critères Laplace, Wald, Hurwitz)

En revanche, lorsque le critère du MinMax Regret est appliqué sur un nœud de chance l'évaluation de ce dernier ne dépend pas uniquement de l'évaluation de ses branches. L'introduction de la notion de regret nécessite d'être capable de comparer les différentes situations pour un même état de la nature. Ceci implique une exploration plus spécifique de l'arbre (nommée ici « exploration par recherche »). En effet, le calcul du regret nécessite d'aller explorer des branches non successives de l'arbre afin de trouver, pour un état de la nature donné, la situation référence à laquelle les éventualités seront comparées.

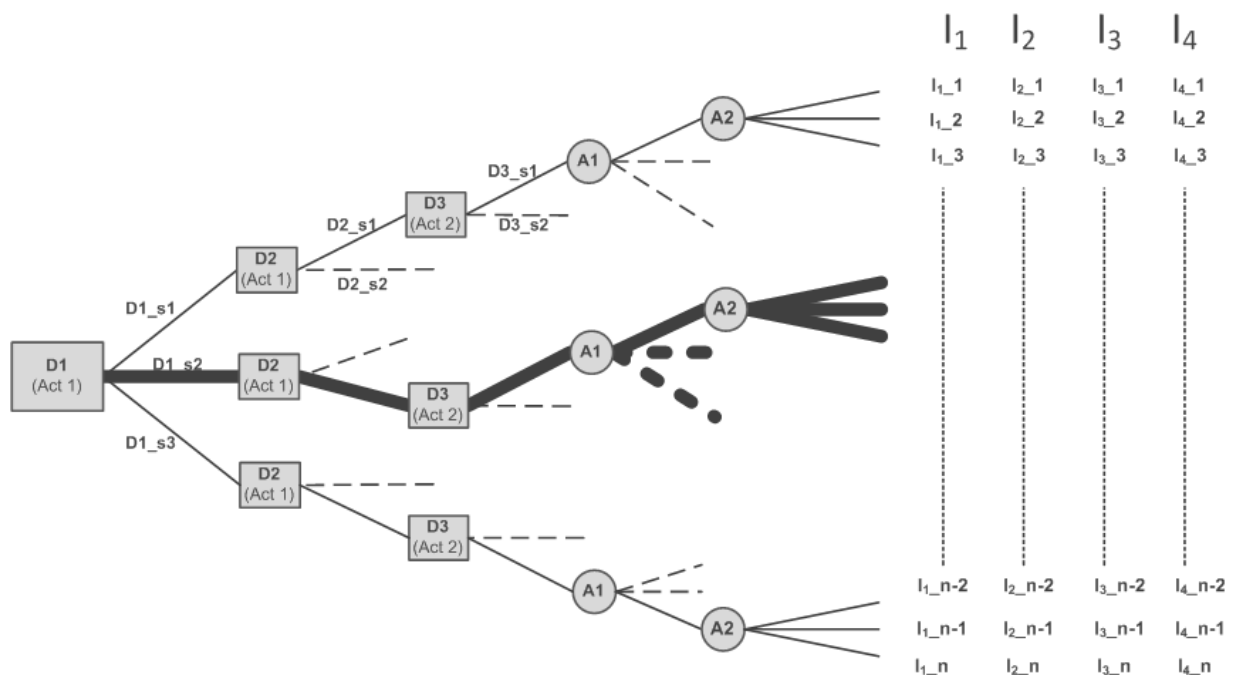
Ceci nécessite donc que toutes les décisions, qui se situent après la décision concernée par le critère de regret, aient été traitées. L'Algorithme 5.1 est donc lancé plusieurs fois sur des plages données de rangs de l'arbre pour pouvoir réaliser ces traitements. Le rôle de l'attribut *Rang\_Min* est de fixer la limite de ces plages de rangs.

La Figure 5.4 illustre un cas d'arbre composé de 4 rangs (D1-E1-D2-E2) où la décision D1 utilise le critère du MinMax Regret pour juger l'incertitude de l'aléa E2 (toutes les autres attitudes de la structure ainsi définie sont de type Wald, Laplace ou Hurwitz). Dans ce cas, deux itérations de l'algorithme sont nécessaires. A la première, la décision D2 est traitée. La décision D1 n'est traitée qu'à la seconde itération, lorsque toutes les situations ont été évaluées afin d'en ressortir la meilleure et donc de calculer le regret associé à chacune d'elle.



**Figure 5.4 : Exemple d'exploration par recherche d'un arbre de décision**

Au final quelque soit la méthode d'exploration de l'arbre, le résultat final consiste en l'obtention d'un arbre dont tous les nœuds de chance ont été évalués (évaluations potentiellement différentes pour chaque décision qui le précède) et un jugement pour toute les décisions est proposé par sélection de la meilleure évaluation parmi les branches filles. La Figure 5.5 illustre ce résultat final (arbre traité).



**Figure 5.5: Exemple d'arbre traité**

## 2.2 Modèle de simulation du processus de décision

Jusqu'à présent le terme « simulation » a été associé à la reproduction des comportements d'une chaîne logistique et de ses processus de planification. Dans ce contexte, le mot renvoyait non seulement à la reproduction des comportements d'un système mais aussi à une composante temporelle forte permettant de traduire la dynamique du dit système dans le temps. Dans cette partie, le mot « simulation » sera compris et utilisé dans son sens premier : « l'étude des conséquences d'une action sur une représentation d'un système sans réaliser l'expérience sur le système réel »<sup>1</sup> (et donc sans lien obligatoire au caractère temporel).

Le modèle de simulation du processus de décision est une implémentation directe du modèle représentatif dans un outil codé dans le langage Perl. Il doit permettre d'anticiper le résultat du processus de décision pour une structure du processus de décision donnée. Pour cela, il est alimenté par un arbre de décision valué et retourne un fichier texte dans lequel, le déroulement du processus de décision est retracé (Figure 5.6). Il permet donc de faire ressortir à chaque instanciation une évaluation pour chaque décision et notamment pour la décision principale sous l'hypothèse de la structure du processus décision fournie. En d'autres termes, le modèle de simulation permet l'évaluation de la sensibilité des décisions aux hypothèses de la situation de décision, hypothèses formalisées dans la structure du processus de décision.

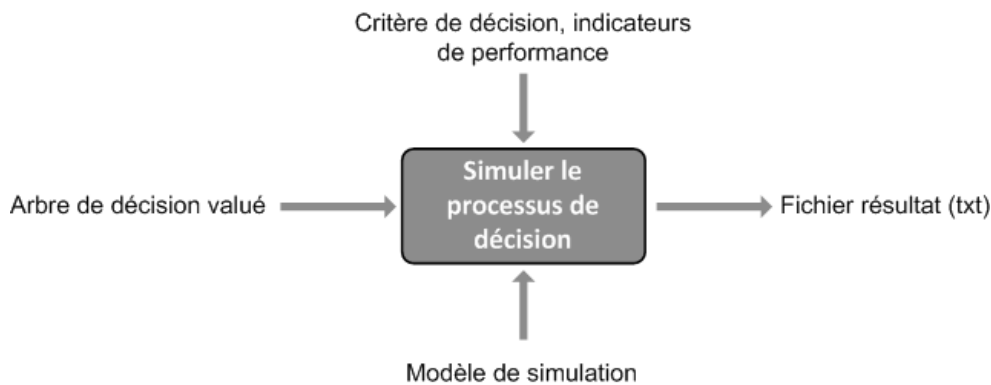


Figure 5.6: Fonction principale du modèle de simulation du processus de décision (Trisk)

A ce stade, les deux premières étapes de la démarche de modélisation ont été présentées (abstraction, implémentation). La prochaine section s'attache à la dernière partie : l'utilisation par un décideur.

<sup>1</sup> Résumé de ce qui a été présenté comme la « simulation » au chapitre 2 (section 4)

## 3 Démarche globale d'aide à la décision pour le management des relations industrielles

### 3.1 Vue globale de la démarche

A la base de notre démarche (Figure 5.8) se trouvent les deux processus décrits au chapitre 1 :

- le processus de décision<sup>1</sup> : prise d'information<sup>2</sup> – jugement – acte ;
- le processus de management des risques : identification – évaluation – traitement ;

La description de chacune des phases du processus de management a montré que l'activité de traitement est une activité de décision. En ce sens, nous pouvons la décomposer en prise d'information, jugement et acte. Or, nous avons montré au chapitre 1 que « la décision va au delà de l'application d'un modèle », (Jarrosion, 1994) et qu'il ne faut pas prétendre aider à la décision en fournissant une solution qui décrira parfaitement la situation (biais d'abstraction) ou le comportement effectif du décideur (biais de jugement). Nous avons alors conclu que l'aide à la décision (dans le contexte de la gestion de la collaboration) ne peut être qu'une activité de prise d'information où nous cherchons à augmenter, ou du moins à formaliser, la connaissance du décideur avant son jugement.

Au travers de nos travaux, nous avons mis en œuvre deux démarches de modélisations distinctes : une pour représenter et simuler le processus de définition des relations de la chaîne logistique (paramétrage de la chaîne) et l'autre pour représenter et simuler les performances de la chaîne logistique ainsi paramétrée (phase d'exploitation). Ces deux démarches ont abouti à deux outils de simulation : LogiRisk et Trisk. La conception, c'est à dire l'obtention des modèles représentatif et de simulation, de ces deux outils a été présentée dans le chapitre 3 (LogiRisk) et la section 2 du présent chapitre (Trisk). Il reste désormais à expliciter la phase d'utilisation (nommée phase d'analyse dans la démarche globale de modélisation en simulation au chapitre 2). L'utilisation de ces outils repose sur leur instanciation pour des situations données. En retour de cette instanciation, ils fournissent un ensemble de résultats : un plan d'expérience valué (et élagué) pour LogiRisk et une évaluation des hypothèses de la situation de décision pour Trisk.

Mais comment définir les données (les « inputs ») à fournir à ces deux outils ?

Nous proposons d'utiliser la démarche générale de management des risques pour le management des relations industrielles présentées ci-dessus afin de formaliser et structurer la phase d'utilisation (« analyse ») de ces deux outils de simulation.

Notre démarche (illustrée dans la Figure 5.7) n'est pas uniquement concentrée sur l'identification et l'évaluation de risque. En fait, nous revendiquons un premier pas dans le traitement en identifiant des leviers de décision (protocoles et comportements) et en évaluant leur conséquence sur le ou les risques. De plus, s'il est une chose d'informer le décideur sur les conséquences possibles de ses actes (et de ceux des autres), il en est une autre de l'informer sur les conséquences de son attitude face aux risques (et de celle des autres). En d'autres termes, nous ne cherchons pas à fournir LE jugement de la situation de décision, mais à envisager plusieurs jugements possibles (d'où le terme de pré-jugement). L'ensemble de ces évaluations ainsi que les informations non formalisées par le décideur constituent le socle de la connaissance qui lui sert de base pour choisir parmi les options possibles (jugement réel et acte).

---

<sup>1</sup> Nous avons également cité la phase d'application de la décision, mais elle n'entre pas dans le cadre de nos propos

<sup>2</sup> Au chapitre 1, nous avons vu que cette prise d'information était également appelé évaluation. Nous avons préféré ici la première appellation pour éviter toute confusion avec l'évaluation du management des risques

Ceci explique la limite de notre aide à la décision fixée en amont des phases de jugement et d'acte. Cela explique également le caractère itératif de notre démarche en trois phases qu'il s'agit désormais de préciser.

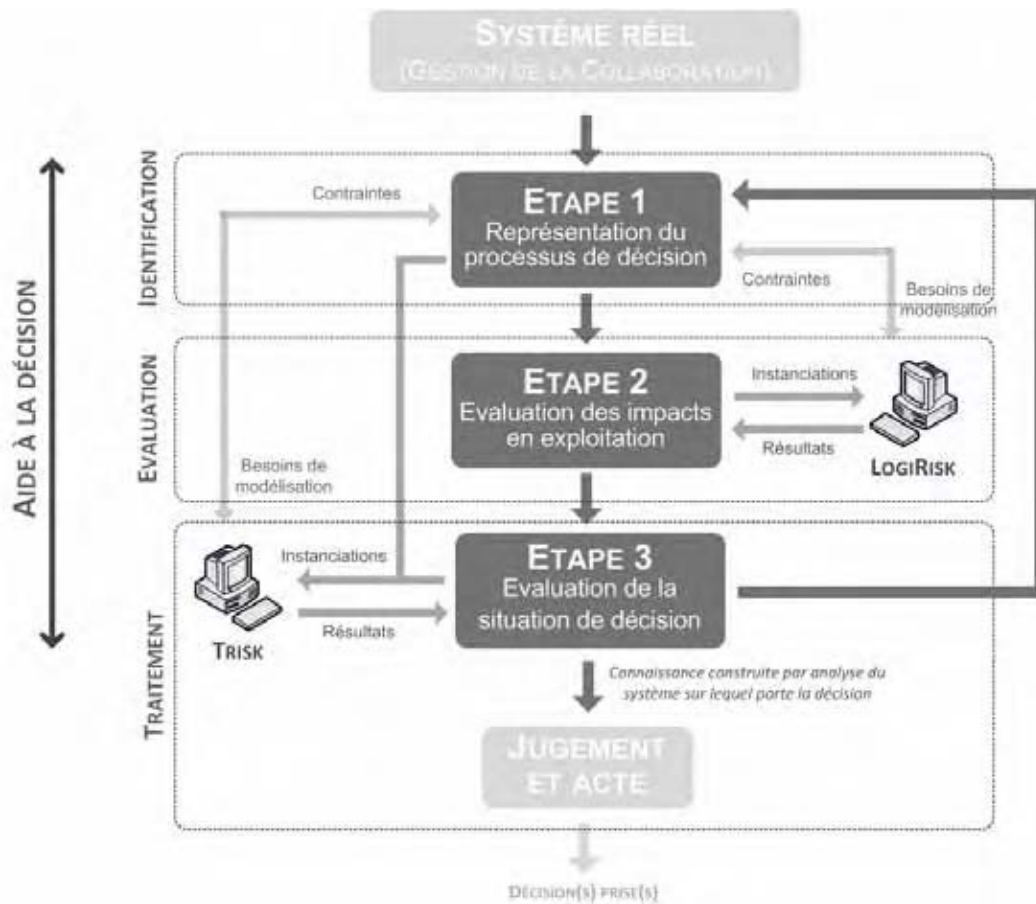


Figure 5.7 : Vue générale de la démarche proposée et intégration des outils

## 3.2 Détails de la démarche

Cette partie est destinée à présenter le détail de l'approche de management des risques que nous proposons. Les éléments que nous allons citer pour chacune des trois étapes seront résumés dans la Figure 5.8 à la fin de cette section.

### 3.2.1 Etape 1 : définition de la situation de décision

Le but de l'étape 1 est de définir la situation de décision (les hypothèses). Il s'agit donc non seulement d'explicitier les choix possibles pour cette décision principale, mais aussi d'identifier les décisions portées par d'autres acteurs et les aléas qui peuvent impacter la chaîne (localement ou globalement et positivement ou négativement). Cette étape doit donc permettre de « capturer » les informations concernant la perception de la situation par les différents acteurs (objectifs de performance, aléas, ordre des décisions et aléas), en d'autres termes, une certaine représentation du processus de décision réel est bâtie.

Afin d'aider à ne pas oublier certains éléments nous proposons de répondre à quatre questions :

- Une aide à la décision, mais pour qui et pour quelle(s) décision(s) ? L'objectif est ici d'identifier quelle est la décision principale à laquelle il faut apporter une aide ainsi que le décideur (ou groupe de décideurs) en charge de celle-ci. Il faut également



identifier quelles sont les autres décisions dont les personnes menant l'analyse imaginent qu'elles peuvent avoir des conséquences sur la performance de la chaîne et donc des conséquences sur le résultat de la décision principale. Les décisions possibles sont les différents protocoles et comportements (et paramètres associés) qu'il est possible de simuler dans LogiRisk.

- *Des décisions, mais quels objectifs et quels critères ?* Une fois les décisions à prendre en compte dans l'analyse (et les décideurs associés) identifiées, il faut être capable de définir à partir de quel(s) critère(s) seront prises chacune d'elles. Les critères suivis sont les différents indicateurs de performances que LogiRisk est capable de remonter pour chacune des simulations. Si une décision doit se prendre sur un ensemble de critères, une moyenne pondérée est réalisée sur ces critères pour refléter l'intérêt porté par le décideur.
- *Quelles sont les aléas qui risquent de perturber le système ?* Cette question traduit la nécessité d'identifier les différents aléas qui peuvent survenir et modifier la performance du système. Les aléas pouvant être pris en compte sont ceux dont la simulation est possible dans LogiRisk.
- *Quelle est la structure du processus de décision ?* Les trois questions précédentes ont permis de définir les décisions et les aléas qui doivent être pris en compte. A l'issue de l'étape 1, le but est de disposer de la structure du processus de décision qui est analysé. Il faut donc définir dans quel ordre vont être prises les décisions et les aléas. Pour chaque décision, il faut également choisir parmi les critères de décision disponibles (Wald, Hurwitz, Laplace, MinMax Regret) celui qui est représentatif de la « méthode » de décision associée.

La fin de l'étape 1 consiste à construire l'arbre de décision à partir de la structure ainsi définie. Nous parlons alors d'arbre de décision aux branches non évaluées.

### **3.2.2 Etape 2 : évaluation des situations identifiées**

A l'issue de l'étape 1, nous disposons d'un arbre de décision dont les feuilles ne sont pas évaluées. L'étape 2 consiste à évaluer chacune d'elles, c'est à dire chacun des scénarios pré-identifiés. A priori, il est possible d'envisager plusieurs modes d'évaluation, par exemple :

- avis d'expert(s) ;
- base de données, historiques, ... ;
- brainstorming ;
- simulation.

Les trois premiers peuvent résulter sur évaluations à partir d'un nombre d'informations formalisées assez restreint. Par exemple, pour un scénario donné, un expert pourra donner une évaluation sans pour autant expliciter toute la connaissance à partir de laquelle il a bâti cette évaluation. En revanche, le recours à la simulation nécessite un plus haut degré de formalisation du contexte. Dans ce cas, les personnes en charge de l'analyse sont responsables de la définition :

- de la durée des simulations ;
- des expériences à réaliser (facteurs du plan) (données descriptives du plan) ;
- des informations concernant la chaîne (données du plan).

Il s'agit là des données d'entrée au modèle de simulation de la chaîne (LogiRisk). Une fois ces informations définies, la réalisation du plan d'expériences permet l'évaluation des différents scénarios (un fichier de résultats pour chacun).

En sortie de cette étape, un arbre de décision complet (c'est à dire aux branches évaluées) est obtenu. Le qualificatif complet renvoie à la présence d'une évaluation à chacune de ses feuilles (1 à n mesures). Considéré comme un plan d'expériences, la « complétude » renvoie également aux possibles conclusions sur la significativité des différents facteurs de ce plan d'expériences et donc à la suppression de l'arbre de tous les nœuds dont l'influence sur les performances suivies n'est pas significative (voir analyse statistique d'un plan d'expérience au chapitre 3). Cette suppression de certains nœuds de l'arbre est appelée élagage de l'arbre. L'arbre désormais évalué et élagué peut être traité

### **3.2.3 Etape 3 : évaluation de la situation de décision**

Cette étape cherche à reproduire le comportement du système de décision en charge de la définition des relations industrielles à l'intérieur de la chaîne. Une fois l'influence des décisions et des aléas validée (test de Fisher-Snedecor<sup>1</sup>), la troisième étape est le traitement de l'arbre en tenant compte des aléas et de leur prise en compte par les différentes parties prenantes. Nous appelons cette phase la compilation de l'arbre.

La théorie de la décision fournit un certain nombre de critères qui permettent de traduire différentes façons d'intégrer l'incertitude : équiprobabilité des possibilités (Laplace), optimisation de l'évaluation minimale (Wald = Maximin), optimisation de l'évaluation maximale (Maximax), pondération d'optimisme (Hurwicz), minimisation des regrets (Savage). La compilation consiste à intégrer ces critères (associés à chaque couple décision-aléa à l'étape 1) suivant le modèle décrit plus haut dans ce chapitre. Chaque instantiation de l'outil Trisk met en lumière un choix à privilégier pour un ensemble de données de perception (critères de décision et indicateurs de performance suivis). L'utilisation d'un outil informatique pour réaliser le traitement permet l'exploration rapide d'un grand nombre de situations.

---

<sup>1</sup> Il est à noter que si ce test a été présenté et illustré au chapitre 3 en même tant que l'outil de simulation, il est possible d'envisager son utilisation sur des expériences évaluées à partir d'autres moyens que la simulation

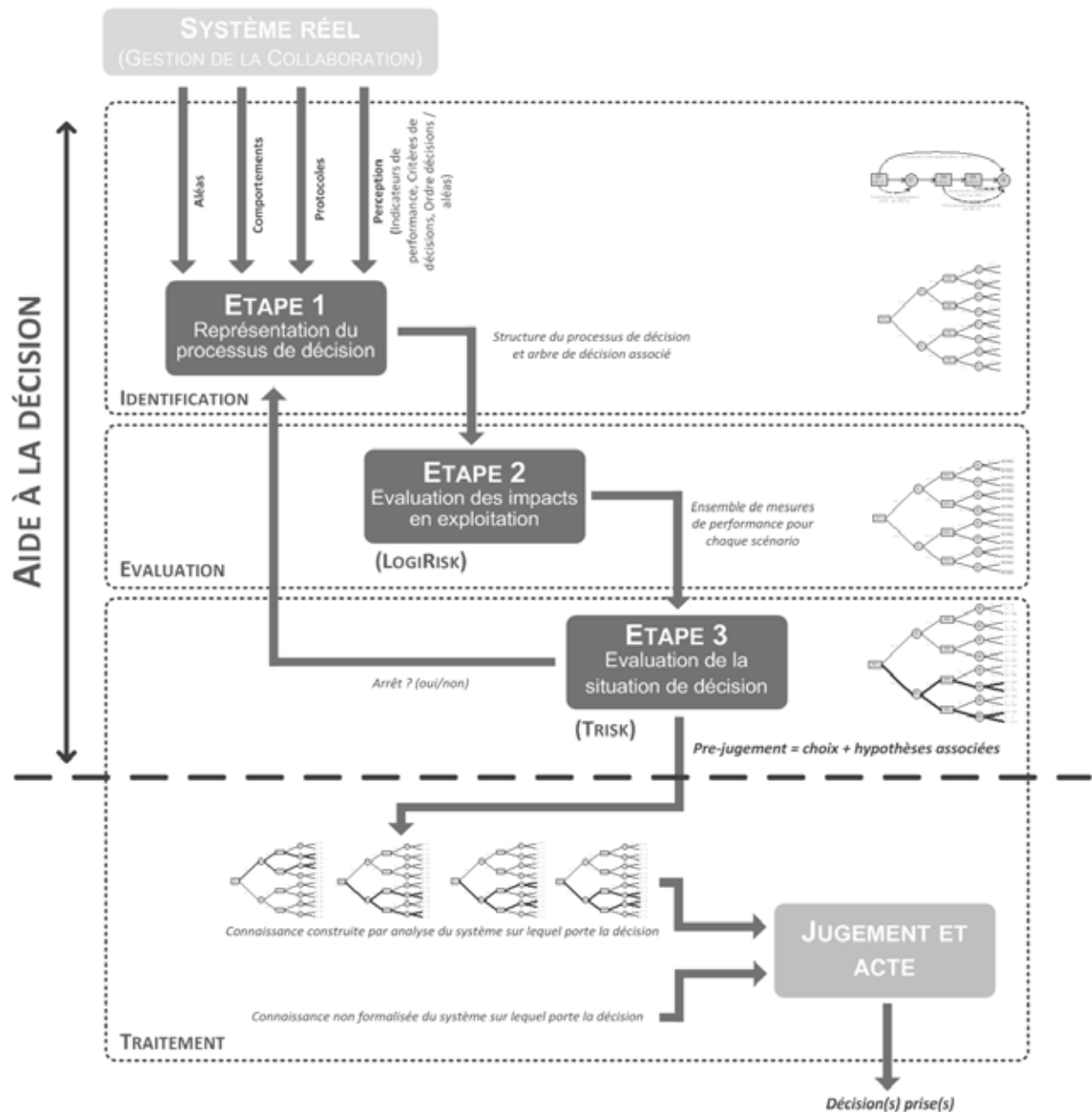


Figure 5.8: Démarche de management des risques pour le management des relations industrielles (inspirée de (Marquès et al., 2010b))

### 3.3 Remarque sur le caractère itératif

Dans l'état actuel de développement et de formalisation de cette méthodologie, il n'existe pas de critère précis pour définir la condition d'arrêt de ce processus itératif. Néanmoins, il faut garder à l'esprit certaines conclusions du chapitre 1 concernant la valeur de l'information et le danger que peut représenter un « trop plein » d'information au regard des capacités limitées de celui ou ceux qui devront les assimiler pour en déduire une décision finale. Puisque « ce n'est pas l'information brute qui sert à décider mais plutôt le sens qu'à cette information » (Jarrosion, 1994), celle-ci doit être interprétée par le décideur au travers de ses facultés, sa sensibilité, ses objectifs ou ses contraintes. Un trop grand nombre d'information à traiter sera donc source d'indécision et limitera la portée de l'aide apportée ; aide à la décision dont il convient désormais de discuter les apports, les enjeux et les limites.

## 4 Conclusion et discussion : quelle valeur pour les préconisations réalisées ?

La définition des coopérations au sein d'une chaîne logistique peut être vue comme un processus de décisions complexe mettant en jeu plusieurs décisions différentes et séquentielles<sup>1</sup>, chacune d'entre elles pouvant être associées à des décideurs différents. Les arbres de décisions sont des outils traditionnellement utilisés pour représenter les situations de décisions séquentielles pour un même acteur. D'autre part, certains critères ont été développés pour représenter le comportement de décideurs vis à vis de situations caractérisées par l'incapacité à fournir des probabilités, même subjectives, pour décrire la situation d'incertitude.

Ici, nous proposons d'aider à la définition des coopérations en nous appuyant sur une modélisation de ce processus de décision. Pour cela, nous avons employé une démarche similaire à celle utilisée pour modéliser les performances de la chaîne logistique (LogiRisk). A ce titre, un modèle représentatif du processus a été construit. Ils reposent sur l'utilisation d'arbres de décisions dans des situations multi-acteurs où les critères utilisés pour traiter les décisions ne sont pas probabilistes mais les critères de Laplace, Hurwitz, Wald ou MinMax Regret. Cette démarche de modélisation a abouti à la création d'un outil nommé Trisk utilisé pour anticiper le ou les choix en jeu lors de la définition des relations industrielles (comportements et protocoles).

Ces pré-jugements (choix + hypothèses) ne sont valables que dans un cadre d'analyse bien défini (définition de la chaîne, de la structure du processus de décision). En dehors de celui-ci, rien ne peut assurer que les conclusions restent valables. Cela renvoie à la question du cadre dans lequel doivent être utilisées les évaluations résultant du traitement des arbres (caractère itératif). Celle-ci devra permettre de conclure sur la « stabilité » du comportement des décideurs. Cette notion de stabilité peut être déclinée sous deux aspects :

- la stabilité des décisions vis à vis de changements dans la séquence décisions / aléas. En d'autres termes, il s'agit de savoir si la (les) décision(s) doit rester la même en dépit d'un changement dans les dates d'arrivée d'information (occurrence d'un aléa, prise d'une décision). Cela ouvre le débat, par exemple, vers la notion de « valeur de l'information » avec la question de l'intérêt à connaître une information avant de décider. La structure même du processus de décision étant modifiée, nous n'avons aujourd'hui par d'autres moyens que de réaliser plusieurs arbres avec répétition de la démarche générale à chaque itération. L'analyse porte alors sur la comparaison des arbres entre eux, faisant apparaître ainsi différentes stratégies dans le processus global de définition des relations. De tels changements sur la structure du processus de décision peuvent entraîner une redéfinition du plan d'expérience à simuler avec LogiRisk (problématique des dates d'occurrence d'aléas et de décisions) ;
- la stabilité des décisions vis à vis de changements dans les critères utilisés. Dans ce cas, il s'agit d'être capable de mesurer la sensibilité des décisions vis à vis de variations sur les critères de décision. Par exemple, la décision reste-elle identique si un critère Wald devient un Laplace ou que la valeur de  $\alpha$  passe de 0,2 à 0,3 pour un critère d'Hurwitz ? Là encore, le modèle actuel nécessite une redéfinition de la structure du processus de décision et une nouvelle itération de la démarche globale. Il pourrait être intéressant de déterminer automatiquement les valeurs de  $\alpha$  pour lesquelles la décision change. Néanmoins, le nombre de variables (qui représentent les intervalles particuliers) augmentent considérablement avec le nombre de

---

<sup>1</sup> Toutes les décisions de ce genre de processus ne le sont pas forcément. La « séquentialité » des décisions est une hypothèse de notre part, une limite à l'ensemble des cas que nous nous proposons de traiter.

décisions caractérisées par le critère d'Hurwitz et la complexité de la détermination d'une préconisation pour chacune les décisions croît exponentiellement.

Dans le futur, nous envisageons d'adopter une approche par la théorie des jeux afin d'étendre notre champ d'analyse réduit, aujourd'hui, aux « seules » décisions séquentielles. Le recours à la théorie des jeux permettrait de traiter certaines décisions, multi-acteur par essence, où la recherche d'« équilibres » serait une alternative intéressante pour la construction des préconisations.

## RESUME

Ce chapitre présente les apports méthodologiques de la thèse. Dans celui-ci, nous présentons, d'abord, la démarche de modélisation du processus de définition des relations industrielles à l'intérieure d'une chaîne logistique. A l'image de la démarche de modélisation des performances de la chaîne (LogiRisk), deux modèles sont successivement construits : d'abord un modèle représentatif par abstraction du système réel (processus de définition des relations industrielles), puis un modèle de simulation par implémentation directe de ce dernier.

Ces modèles reposent sur l'association de deux outils de modélisation couramment utilisés : les arbres de décisions, d'une part, et des critères tirés de la théorie de la décision, d'autre part (Wald, Hurwitz, Laplace). En plus d'ajouter des critères non probabilistes aux arbres de décision traditionnels, le modèle proposé permet d'ajouter la composante « multi-acteur », où toutes les décisions n'appartiennent pas à un même et unique décideur. Dès lors, chacune peut être prise au regard d'indicateurs de performance différents et suivant des critères différents. L'utilisation de cet outil de simulation force donc le potentiel utilisateur à identifier un certain nombre de scénarios (chemins de l'arbre) et un ensemble d'indicateurs de performance qui serviront à évaluer chacun d'eux.

A ce stade nous disposons d'un outil pour simuler la manière dont sont prises les décisions relatives à la définition des relations industrielles d'une chaîne logistique. L'enjeu est de pouvoir anticiper les conséquences sur la performance de la chaîne logistique (alors en phase d'exploitation). Ce rôle d'évaluation des différents scénarios ainsi identifiés est joué par LogiRisk, présenté au chapitre précédant comme l'outil de simulation de la chaîne. Le second but de ce chapitre est donc de présenter la démarche globale de management des risques pour le management des relations industrielles qui intègre ces modèles de simulation. Elle s'articule autour des activités principales du processus de management des risques : identification, évaluation, traitement.

Le déroulement de cette démarche correspond à la phase d'utilisation (d'analyse) des modèles de simulation ainsi construits. Elle permet d'*identifier* d'un certain nombre de scénarios qui établissent la structure d'un arbre de décision (1 branche = 1 scénario). Le modèle de simulation LogiRisk permet ensuite d'*évaluer* chacun de ces scénarios (valeur(s) d'indicateur(s) à chaque feuille de l'arbre). Enfin, le modèle de simulation du processus de décision permet d'obtenir des préconisations qui tiennent compte de la manière dont les décideurs souhaitent tenir compte, c'est à dire *traiter*, les incertitudes de la situation analysée. Plusieurs itérations de cette démarche peuvent être réalisées afin de mesurer la sensibilité des préconisations aux différentes situations (séquence des décisions/aléas et/ou critères de décisions et indicateurs de performance utilisés).



# **PARTIE III : ILLUSTRATION**





# Chapitre 5

## La gestion de la coopération de Pierre Fabre<sup>1</sup> avec ses fournisseurs de produits de conditionnement

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>186</b>
1.1	LA CHAÎNE LOGISTIQUE PIERRE FABRE (DERMO-COSMETIQUE) .....	186
1.2	OBJECTIF DE L'ÉTUDE .....	187
<b>2</b>	<b>ELEMENTS DE CONTEXTE.....</b>	<b>188</b>
2.1	LES PRODUITS.....	188
2.2	LE MARCHE .....	188
2.3	LE PROCESSUS PHYSIQUE (CENTRE DE PRODUCTION).....	189
2.3.1	<i>Les stocks.....</i>	189
2.3.2	<i>La fabrication de « semi-fini » .....</i>	189
2.3.3	<i>Le conditionnement.....</i>	189
2.4	LE PROCESSUS DE PLANIFICATION.....	189
<b>3</b>	<b>MODELISATION DES PROCESSUS PFDC .....</b>	<b>191</b>
3.1	CHOIX D'ABSTRACTION .....	191
3.2	VALIDATION DU MODELE AVAL.....	192
3.2.1	<i>Evaluation « globale ».....</i>	192
3.2.2	<i>Evaluation « statique ».....</i>	193
3.2.3	<i>Evaluation « dynamique ».....</i>	194
3.2.4	<i>Bilan .....</i>	196
<b>4</b>	<b>REPONSE AUX BESOINS.....</b>	<b>196</b>
4.1	CADRE DE L'ÉTUDE .....	196
4.1.1	<i>Sources de risques identifiés en première analyse .....</i>	196
4.1.2	<i>Limites de l'analyse (aléas et décisions étudiées) .....</i>	197
4.2	Pb1 : QUELLE COLLABORATION DANS UN CONTEXTE DONNE ? .....	200
4.2.1	<i>Etape 1 .....</i>	200
4.2.2	<i>Etape 2 (évaluation LogiRisk) .....</i>	203
4.2.3	<i>Etape 3 (évaluation Trisk).....</i>	204
4.3	Pb2 : QUELLE COLLABORATION DANS UN CONTEXTE PROBABLE ? .....	206
4.3.1	<i>Etape 1 .....</i>	206
4.3.2	<i>Etape 2 .....</i>	208
4.3.3	<i>Etape 3 .....</i>	209
<b>5</b>	<b>CONCLUSION ET DISCUSSION .....</b>	<b>211</b>
5.1	LES RESULTATS OBTENUS .....	211
5.2	PERSPECTIVES D'AMÉLIORATION.....	212
	<b>RESUME .....</b>	<b>214</b>

<sup>1</sup> En fait, il s'agit plus précisément de la branche Dermo-Cosmétique du Groupe Pierre Fabre

# Chapitre 5

## La gestion de la coopération de Pierre Fabre<sup>1</sup> avec ses fournisseurs de produits de conditionnement

### 1 Introduction

Au travers des chapitres précédents, nous avons construit et présenté la démarche proposée afin d'aider à la prise de décision dans le contexte de la gestion de la coopération au sein de chaîne logistique. Cette gestion de la collaboration y a été décrite comme la recherche d'une cohérence entre trois dimensions majeures à prendre en compte par les décideurs :

- les *protocoles* (processus de décision partagés) entre les acteurs ;
- les *comportements* individuels (processus de décision internes) à chaque acteur ;
- les *aléas* avérés ou potentiels susceptibles de perturber le système et qui peuvent être perçus de différentes manières par les décideurs. Pour rappel, nous nous sommes concentrés sur les aléas de types : variation du marché (à long, moyen et court terme), pannes, rebut, retard sur les processus physique de production et de livraison.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une application de notre démarche d'aide à la gestion de la collaboration entre la branche Dermo-Cosmétique du Groupe Pierre Fabre et une partie de ses fournisseurs. Ce cas d'application se veut une illustration de l'utilisation d'une démarche basée sur la simulation. Surtout, elle doit nous permettre de montrer comment l'attitude face au risque peut influencer les choix dans le cadre de la gestion de coopérations.

#### 1.1 La chaîne logistique Pierre Fabre (dermo-cosmétique)

Le groupe Pierre Fabre est positionné sur les secteurs du médicament (2<sup>ème</sup> laboratoire pharmaceutique indépendant français) et de la dermo-cosmétique (2<sup>ème</sup> laboratoire dermo-cosmétique européen en officine). Dans cette étude nous nous concentrerons uniquement sur les activités de la branche Dermo-Cosmétique du Groupe Pierre Fabre (notée PFDC dans la suite).

PFDC possède une large gamme de produits dermo-cosmétiques (3500 références de produits finis, 700 formules) dont les marques les plus connues sont : Avène, Ducray, Furterer, Galénic, Elancyl, Klorane... De manière macroscopique, la production peut être séparée en deux étapes principales : la production de « semi-fini », aussi appelé « vrac », c'est à dire les crèmes ou autres liquides, puis, dans un second temps, leur conditionnement<sup>2</sup>. Le cas d'application présenté dans ce chapitre s'intéresse tout particulièrement à la gestion des approvisionnements de produits de conditionnement.

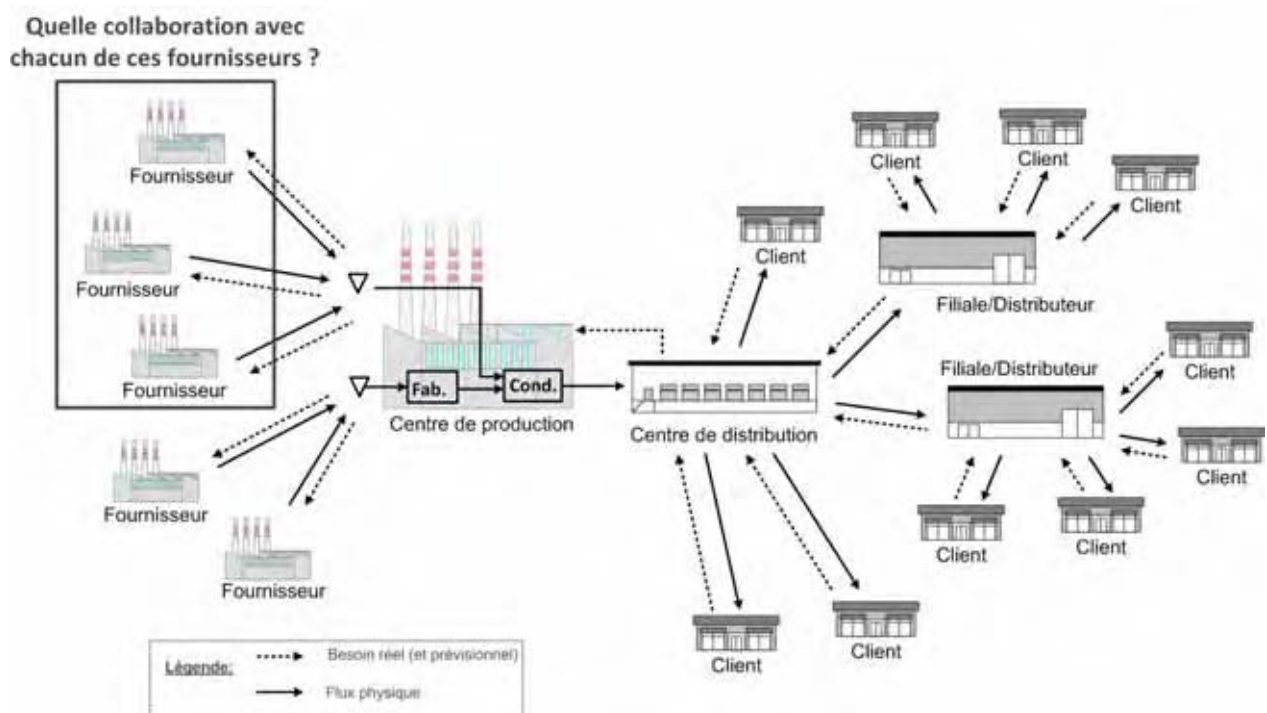
---

<sup>1</sup> En fait, il s'agit plus précisément de la branche Dermo-Cosmétique du Groupe Pierre Fabre

<sup>2</sup> Ici, nous n'avons pas fait apparaître la phase de fabrication des principes actifs qui est réalisée dans un autre centre de production mais qui sort du cadre de notre analyse

La Figure 6.1 donne une vue d'ensemble de la chaîne logistique de PFDC. Elle fait apparaître deux canaux de distribution jusqu'aux officines qui constituent ici les clients : une distribution directe depuis le centre de distribution (zone France), une distribution en passant par des filiales ou autres distributeurs indépendants (assimilés ici à des centres de distributions déportés à l'étranger). Tous les besoins (réels comme prévisionnels) sont centralisés au niveau du centre de distribution. Une fois le Distribution Requirement Planning (DRP) effectué, une demande prévisionnelle pour chaque référence de la gamme de produits finis est transmise au centre de production. Sur cette base vont être pilotées les charges de production et de conditionnement. Des besoins en matières premières sont également émis aux fournisseurs.

Notre champ d'étude est centré sur un sous-ensemble particulier de ces fournisseurs : les fournisseurs de produits de conditionnement<sup>1</sup>. Notons également que nous ne traiterons que de la gestion des produits en phase de maturité. Ceci exclut les produits en fin de vie et les produits en phase de lancement qui nécessitent des autorisations de livraison et donc un processus d'approvisionnement particulier.



## 1.2 Objectif de l'étude

Historiquement, PFDC entretenait avec ses fournisseurs des relations de type « à la commande ». Néanmoins, PFDC instaure peu à peu un autre type de relations avec ses fournisseurs : l'engagement sur approvisionnement. PFDC cherche à remplacer le traditionnel flux poussé par ce nouveau protocole. Se pose alors la question de la pertinence de cette stratégie globale en fonction de différents critères comme les caractéristiques du fournisseur et de la variabilité du besoin.

Les responsables de PFDC ont décidé de l'évolution du protocole sur la base de leur expérience et de leur connaissance du fournisseur. Désormais, ils cherchent à construire et à formaliser ce processus de décision et se trouvent devant la nécessité de réussir à évaluer l'impact de certaines de leurs décisions (le protocole et ses réglages) dans certains contextes.

<sup>1</sup> Dans toute la suite du document, le mot fournisseur fera référence aux fournisseurs de produits de conditionnement de PFDC

Compte tenu des aléas qui peuvent affecter le comportement du système et des acteurs de la chaîne, que nous décrirons plus en détails dans la section 2, l'objectif de l'étude consiste à répondre à la question « quelle coopération mettre en place ? », en distinguant deux situations :

- $Pb_1$  : pour un contexte donné (c'est à dire connu) ;
- $Pb_2$  : pour un contexte probable (c'est à dire incertain).

La réponse à ces questions va nécessiter une phase de validation du modèle de simulation. Nous commencerons donc par présenter celle-ci ainsi que nos choix d'abstraction dans la section 3.

Le  $Pb_1$  soulève la problématique de la représentation d'une situation connue et caractérisable. Il s'agit alors d'identifier des collaborations dominantes à mettre en place pour un contexte défini (c'est à dire certain) (section 4.2)

Le  $Pb_2$  correspond à notre démarche de management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration. Dans cette situation, les aléas ne sont pas encore avérés et sont caractérisés par un certain degré d'incertitude. Nous proposerons donc d'appliquer notre démarche afin de contribuer à une meilleure information du décideur sur sa situation de décision (section 4.3).

## 2 Eléments de contexte

### 2.1 Les produits

La gamme PFDC comporte plus de 3500 références. La différenciation des produits finis est essentiellement portée par le conditionnement. Globalement, un article PFDC est constitué par tout ou partie des éléments suivants :

- un contenu « semi-fini » ou « vrac » : crèmes, liquides,... ;
- un conditionnement primaire (le contenant) : tubes, flacons,... ;
- un conditionnement secondaire : étuis cartons pour les tubes, films plastiques pour les flacons ;
- une notice : notice papier qui donne la composition et les conditions d'utilisation.

La diversité gérée par le centre de production résulte ainsi (i) des diverses formulations de semi-fini, (ii) des différents volumes possibles des contenants (échantillons et produits finis), (iii) de la diversité des langues imprimées (Français partout, Anglais, Espagnol, Italien, Arabe,...), (iv) de la diversité de packaging (différenciation d'étui, regroupement de produits par 2 ou plus).

Un article de conditionnement est approvisionné auprès d'un seul et même fournisseur.

### 2.2 Le marché

En moyenne, un tiers des références de produits finis sont renouvelées par an. Si, le chiffre d'affaire global (tous produits confondus) est assez constant sur l'année, le marché est caractérisé par de fortes saisonnalités. Il y a par conséquent une culture de la vente par « campagnes », définies comme des dates de rendez-vous où il faut avoir produit toutes les références pour livrer complètement des gammes complètes aux clients. De fait, il y a trois cycles commerciaux dans l'année qui correspondent aux périodes de lancement des nouveaux produits :

- janvier : solaires et amincissants ;
- avril : période des promotions ;
- septembre : anti-chute, capillaires, acné, ..

## 2.3 Le processus physique (centre de production)

### 2.3.1 Les stocks

De manière générale, il n'y a pas de stock de matière première sur site. Le centre de production fonctionne avec des stocks déportés et avec des réserves avancées sur site. Il n'y a pas non plus de stocks de produits finis. Dès qu'un OF a fini d'être conditionné, il est envoyé au centre de distribution.

### 2.3.2 La fabrication de « semi-fini »

Globalement la production est répartie sur différentes plate-formes. Chacune contient un réacteur et tout le matériel pour la préparation. Il y a des réacteurs de différentes tailles : de 6 tonnes à 200kg. Les réacteurs de 2, 3 et 6 tonnes sont les plus utilisés. Il faut compter, en moyenne, une dizaine d'heures de nettoyage entre deux productions.

Une production d'un semi-fini est répartie en différents lots (de 1 à n lots suivant les cas) qui sont envoyés au conditionnement. Ces lots peuvent être identiques ou différer par le volume de produit. A l'exception du premier lot d'une nouvelle production (autorisation oblige), il n'y a pas ou peu de stockage de semi-fini. Il est alors possible de dire qu'un semi-fini fabriqué est entièrement conditionné dans les 24h.

### 2.3.3 Le conditionnement

Le centre de production comporte une douzaine de lignes de conditionnement, réparties en 3 secteurs. Chaque ligne est dédiée à un certains nombre de formats. En sortie de lignes, les produits sont regroupés par une certaine quantité.

Un changement de vrac à traiter sur une ligne de conditionnement donne lieu à un nettoyage de 2h en moyenne.

Une équipe est affectée à une ligne. Il y a toujours un chef de ligne (ou « conducteur »). Ensuite, la composition du reste de l'équipe varie en fonction du type de produit : 4-5 personnes pour les flacons, 2-3 personnes pour les tubes. Avec un nombre limité d'équipes, la capacité de conditionnement constitue le goulot du centre de production.

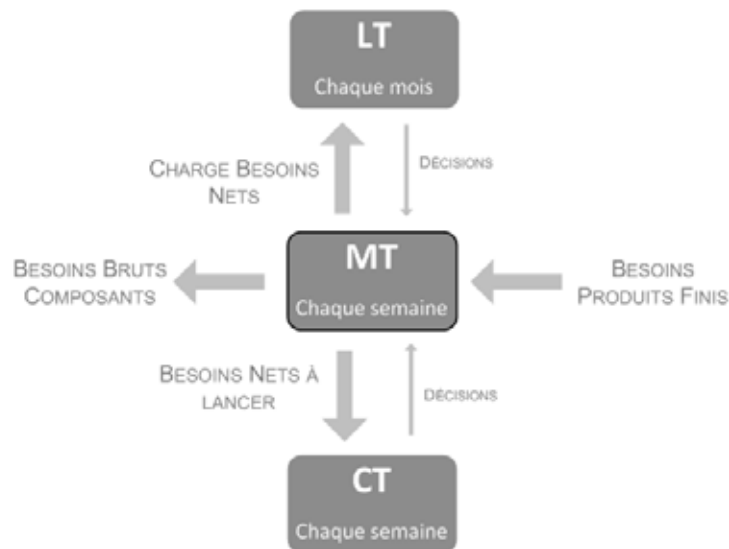
## 2.4 Le processus de planification

Le processus de planification est une version « adaptée » du processus MRPII classique (Figure 6.1). Chez PFDC, c'est le processus moyen terme (calcul des besoins nets) qui est au centre de toute la planification. Il n'y a pas de PIC (au sens MRPII). Chaque semaine, un calcul des besoins est réalisé. C'est à partir de celui-ci que sont calculées :

- une fois par mois, les charges associées aux besoins nets de produits finis. Elles permettent la réalisation d'un processus long terme responsable des décisions de capacité : lissage et sous-traitance<sup>1</sup>. Les mouvements induits par de telles décisions ne seront intégrés qu'au calcul des besoins de la semaine suivante ;
- une fois par semaine, les besoins nets à lancer en production. Ils servent de base aux décisions court terme d'ordonnancement. Là encore, les mouvements induits par de telles décisions ne seront répercutés qu'au calcul des besoins de la semaine suivante.

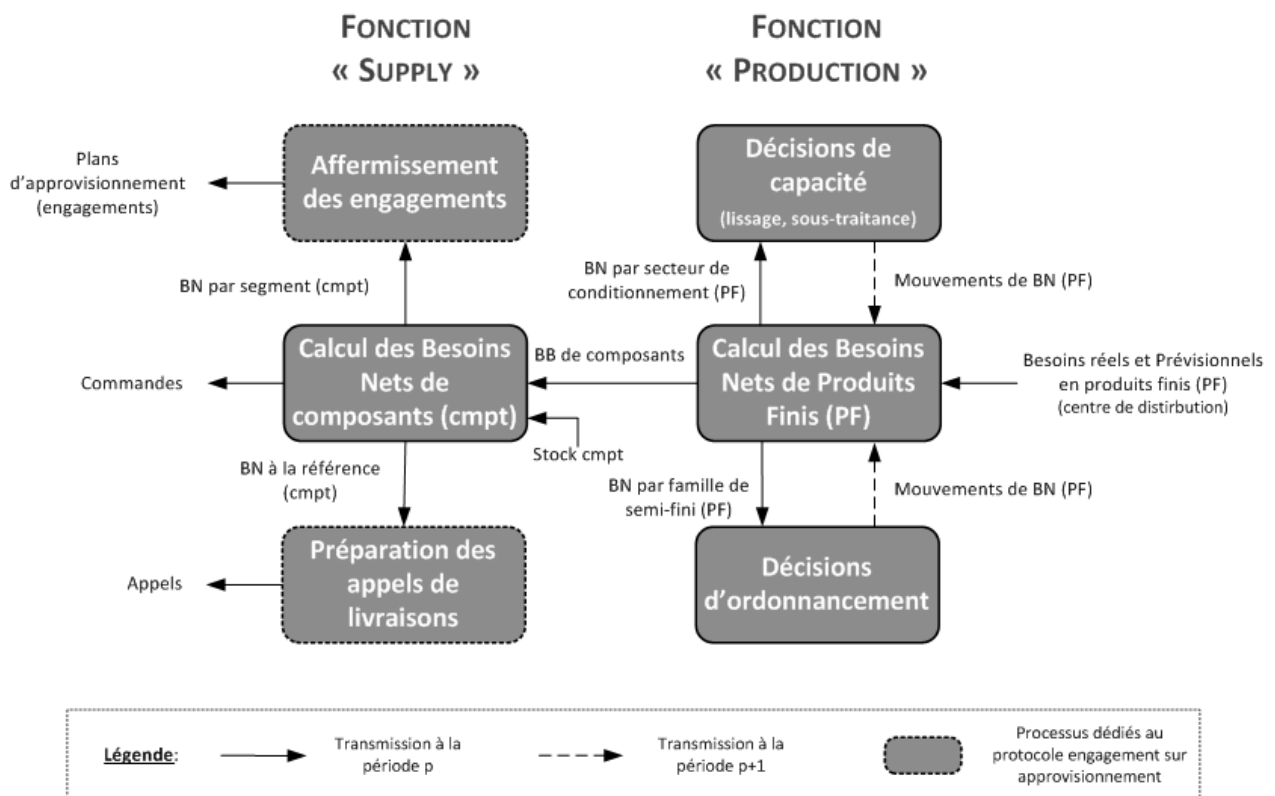
---

<sup>1</sup> Notons ici que nous nous intéresserons uniquement à la sous-traitance de capacité (et non la sous-traitance de spécialité)



**Figure 6.2 : Représentation simplifiée des processus de planification de la production (semi-fini) PFDC**

La Figure 6.3 illustre une vision plus détaillée de ces processus de planification. Elle intègre également une représentation des processus de pilotage de l'approvisionnement (protocole à la commande et protocole engagement sur approvisionnement, voir chapitre 3).



**Figure 6.3 : Représentation détaillée des processus de planification du centre de production PFDC (fonctions « production » et « supply »)**

## 3 Modélisation des processus PFDC

### 3.1 Choix d'abstraction

Dans cette étude nous allons nous intéresser à des chaînes composées de deux acteurs : PFDC et un fournisseur de produits de conditionnement. Au regard de ce qui a été dit à la section précédente, le processus de PFDC est caractérisé par un haut degré de complexité notamment dû au grand nombre de références manipulées (produits finis et composants). Par conséquent, nous avons choisi de modéliser l'acteur « PFDC » en fixant la limite aval de notre modèle (voir chapitre 3) « entre deux fonctions d'un même acteur » (soit entre les fonctions « production » et « supply » de la Figure 6.3)

De ce fait, nous modélisons les processus de planification de PFDC avec deux niveaux de granularité différents :

- de manière détaillée pour les processus de pilotage de l'approvisionnement (« supply ») : calcul des besoins de composants, affermissement des engagements sur approvisionnement, appels de livraisons sur les engagements ;
- de manière agrégée pour les processus de pilotage de la production (« production »). Ici plusieurs sources de perturbations du plan de besoins bruts ont été caractérisées à partir d'interviews d'experts<sup>1</sup>.

Le Tableau 6.1 résume les choix de modélisation réalisés sur la base du modèle présenté au chapitre 3. Les décisions de lissage entraînent toujours des anticipations de 4 ou 8 semaines de besoins (8 semaines est l'anticipation la plus fréquente). PFDC réalise de la sous-traitance de production mais la fourniture de composants reste à sa charge. Compte tenu des délais de contractualisation, une décision de sous-traitance entraîne une anticipation de 12 semaines du besoin. Lissage et sous-traitance provoquent des mouvements de besoins « entiers » (tout le besoin sur la période touchée par la perturbation).

IDENTIFICATION DES DECISIONS ET DES ALEAS			CARACTERISATION			
Horizon	Décisions / Aléas		Probabilité d'occurrence	Quantité (+/-) (stochastique)	Nb périodes (+/-) (Stochastique )	PFDC
LT	Ajustement de capacité					non
LT	Lissage		Variable suivant la référence	Tout le besoin de la période	Anticipation de 4s ou 8s	oui
LT	Sous-traitance de production et d'approvisionnement					non
LT	Sous-traitance de production		Variable suivant la référence	Tout le besoin de la période	Anticipation de 12s	oui
LT,MT	Variation de la demande future	Modification de la quantité	Variable suivant la référence		-	oui
		Mouvement de besoins	Variable suivant la référence			oui
ST	Ordonnancement		Variable suivant la référence			oui
VST	Panne					non
VST	Rebut					non
VST, ST	Anticipation urgente		Variable suivant la référence			oui
VST	Demande réelle différente de la demande planifiée		Variable suivant la référence			oui

**Tableau 6.1 : Vue générale de la modélisation agrégée de la fonction production de PFDC (sources de perturbations du plan de besoins bruts)**

<sup>1</sup> Opinions récoltées auprès du Directeur Industriel et d'une responsable de la logistique industrielle



Pour chaque simulation, nous nous intéresserons à un nombre limité de composants à approvisionner (abstraction par « omission »).

## 3.2 Validation du modèle aval

En accord avec le partenaire industriel, quatre produits « tests » ont été sélectionnés. Pour chacun d'eux, PFDC a fourni chaque semaine et pendant 6 mois :

- le plan prévisionnel de besoins bruts de composants en sortie du processus de calcul des besoins (MT) ;
- le besoin brut réel de composants en production (CT).

A partir de ces données et d'une description générale des caractéristiques du besoin associées à chacun d'eux, nous avons instancié le modèle de simulation LogiRisk afin d'analyser les capacités de l'outil à représenter un comportement réel du système.

Cette comparaison réalité / simulation a été effectuée sur la base des indicateurs présentés au chapitre 3 (évaluation « globale », « statique », « dynamique »). Le Tableau 6.2 résume les caractéristiques principales des produits dont nous avons cherché à reproduire les besoins bruts

Produit	Mvt ordonnancement	Mvt Lissage/ss-traitance	Mvt Marché	Saisonnalité	Volume	Fréquence apparition BB
P1	Beaucoup	aucun	moyen	très forte	Fort	élevée
P2	Peu	aucun	moyen	forte	moyen	moyenne
P3	Peu	aucun	moyen	forte	moyen	moyenne
P4	Moyen	aucun	moyen	très forte	Faible	faible

par simulation :

**Tableau 6.2 : Description qualitative des quatre produits "tests" pour la validation du modèle aval**

Dans cette partie, nous avons comparé les plans prévisionnels de besoins bruts réels et de simulation. La validation au travers de cette comparaison n'est pas parfaite compte tenu des différences sur le volume de données à disposition :

- 36 semaines de données réelles, soit 36 plans de besoins bruts réels par produit;
- 210 semaines de données simulées, soit 210 plans de besoins bruts par produit.

Une solution eut été de sélectionner la fenêtre de 36 semaines la plus proche des données réel parmi les 210 simulées. Ici, nous avons pris le parti de montrer l'ensemble des données expérimentales. La validation a donc été effectuée à partir de tendances générales (et non période par période). Nous ne cherchons pas à reproduire parfaitement les plans de besoins bruts générés par la partie aval du système modélisé. Nous cherchons à démontrer la contrôlabilité globale du modèle.

### 3.2.1 Evaluation « globale »

Le Tableau 6.3 donne l'illustration des évaluations « globales » des données réelles et expérimentales. Pour rappel, l'évaluation « globale » consiste à représenter l'évolution du volume total du plan de besoins bruts dans le temps, notamment afin de repérer des saisonnalités ou de forts changements de tendances dans le besoin.

L'observation du tableau montre la difficulté à reproduire parfaitement un comportement réel du système. compte tenu du niveau d'agrégation choisi (omission de bon nombre de produits et donc de sources indirectes de perturbations du plan de besoins bruts). Au final, les évaluations réelles et expérimentales pour les produits sont relativement proches.

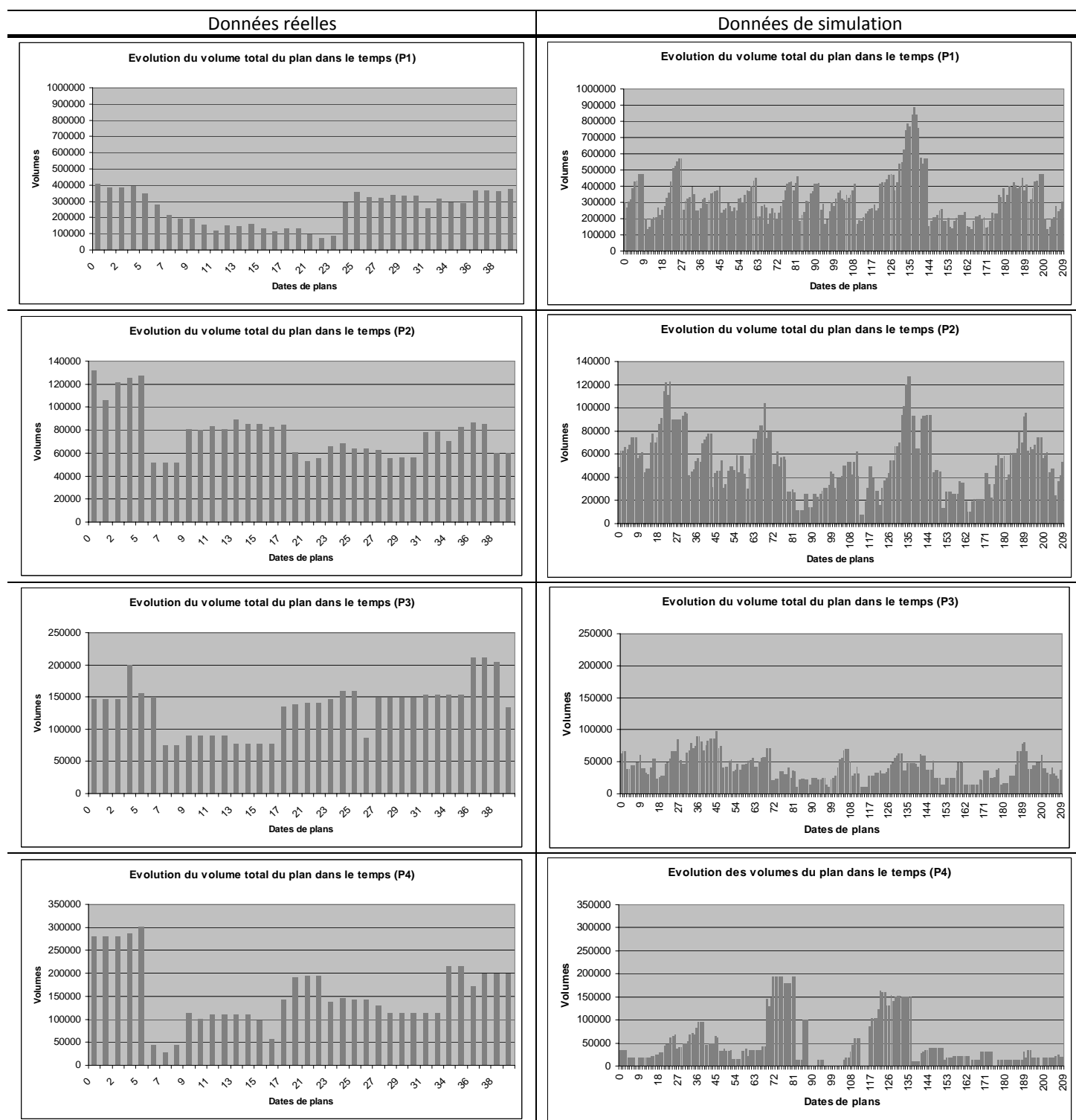
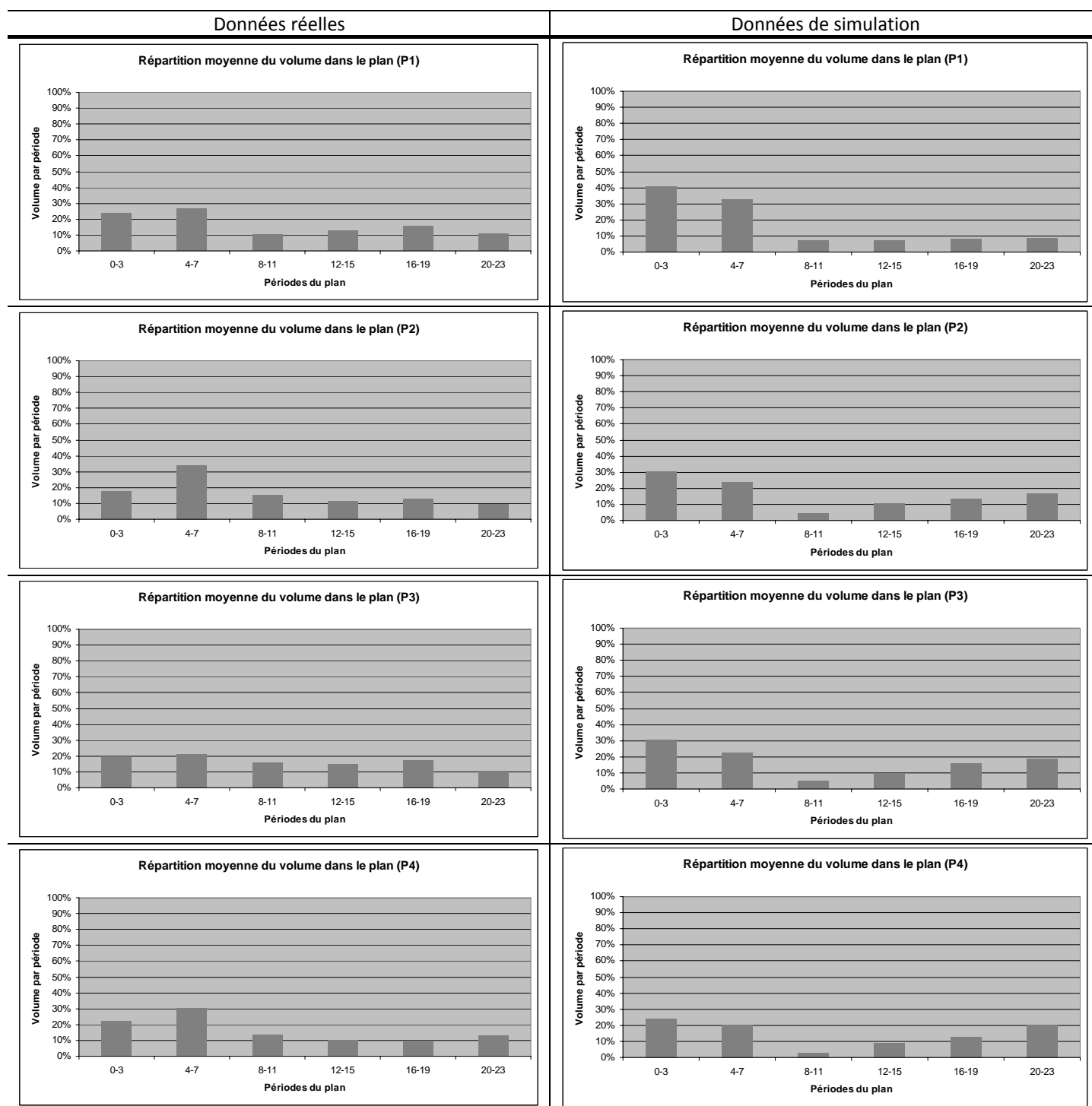


Tableau 6.3 : Comparaison des évaluations « globales » des données réelles et expérimentales

### 3.2.2 Evaluation « statique »

Le Tableau 6.4 donne l'illustration des évaluations « statiques » des données réelles et expérimentales. Pour rappel, l'évaluation « statique » consiste à représenter la répartition moyenne du volume dans le plan.



**Tableau 6.4 : Comparaison des évaluations « statiques » des données réelles et expérimentales**

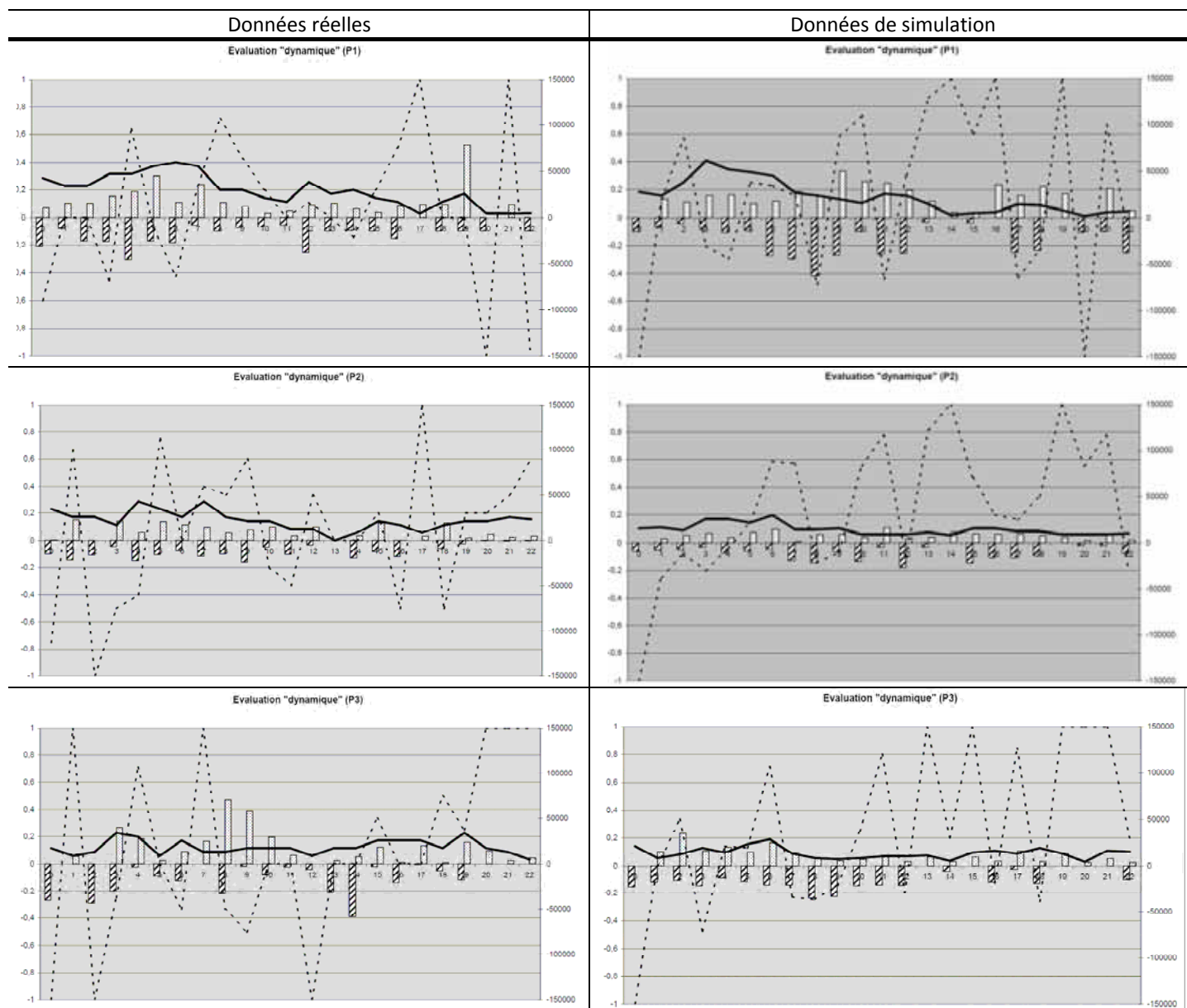
Au regard du tableau, le modèle aval construit est capable de reproduire des profils de volumes assez proches de la réalité.

### 3.2.3 Evaluation « dynamique »

Le Tableau 6.5 donne l'illustration des évaluations « dynamiques » des données réelles et expérimentales. Pour rappel, l'évaluation « dynamique » consiste à caractériser les changements moyens qui ont lieu entre deux dates de mise à jour d'un plan. Cette caractérisation se fait sur plusieurs dimensions : le nombre moyen de changement par période (courbe noire continue), le

sens (+/-) moyen du changement (courbe noire pointillée) et les quantités moyennes impliquées dans les changements positifs et négatifs (barres verticales positives ou négatives).

Compte tenu de la différence d'échelle (36 plans contre 210), la courbe (en pointillée) représentant l'indicateur « sens du changement » ainsi que les barres sont difficiles à exploiter. En revanche, la courbe continue (sur le nombre de changement) permet de conclure à une bonne contrôlabilité du système lorsqu'il s'agit de définir les zones de perturbations au modèle aval.



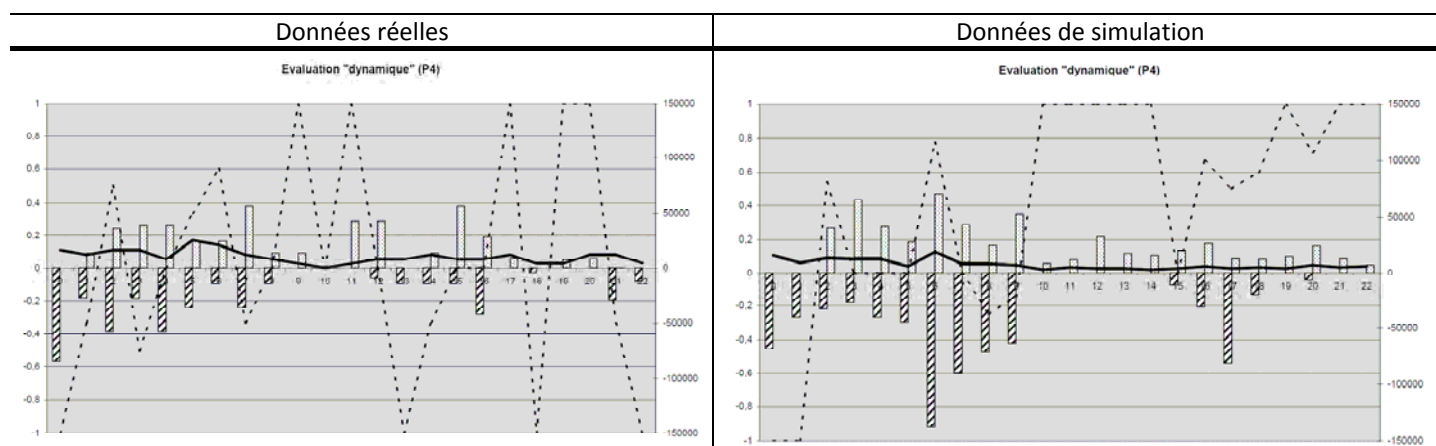


Tableau 6.5 : Comparaison des évaluations « dynamiques » des données réelles et expérimentales

### 3.2.4 Bilan

Le temps nécessaire à la réalisation de cette démarche de validation<sup>1</sup> montre la difficulté d'un réglage fin du modèle aval. Le nombre de paramètres disponibles et leurs multiples interactions possibles participent à la complexification du pilotage de celui-ci. Néanmoins, tous ces paramètres ont une influence directe sur les besoins du plan et la traduction de l'opinion d'expert (Tableau 6.1) en paramètre d'entrée du modèle.

Cette validation a également fait l'objet d'échanges avec les experts PFDC. Au terme de ces discussions, le modèle a été jugé suffisamment représentatif des comportements du système ainsi analysé.

## 4 Réponse aux besoins

### 4.1 Cadre de l'étude

#### 4.1.1 Sources de risques identifiés en première analyse

Au cours du lancement du projet, différentes sources de risques ont été identifiées :

- la variabilité du besoin brut exprimé par la partie production de PFDC. Globalement, trois sources de perturbation peuvent être différenciées :
  - les décisions long terme (lissage et sous-traitance) au niveau du pilotage du centre de production : pour un plan de besoins bruts, ces perturbations interviennent majoritairement au delà de la 12<sup>ème</sup> semaine ;
  - les décisions court terme (ordonnancement) au niveau du pilotage du centre de production : pour un plan de besoins bruts, ces perturbations interviennent majoritairement au cours des 8 premières semaines. Les stratégies de regroupements<sup>2</sup> mises en œuvre à ce niveau entraînent de forts mouvements dans les lancements prévus et donc des besoins en produits de conditionnement ;

<sup>1</sup> Cette démarche s'est étalée sur 6 mois (construction de la base de données réelles)

<sup>2</sup> Ces regroupements (nommés amalgames chez PFDC) concernent les production de semi-fini. Compte tenu de la dimension des réacteurs qui doivent être utilisés à au maximum de leur capacité, le regroupement de plusieurs semaines de besoins de plusieurs références sont nécessaires.

- les variations sur la prévision de la demande de la part des filiales et des centres de distribution locaux : ces variations du plan de besoins d'une semaine sur l'autre concernant des ajouts, des suppressions ou des décalages dans le temps de besoins de produits finis par les services commerciaux et marketing du groupe
- les caractéristiques des fournisseurs en terme de leviers de flexibilité (comportements) :
  - contrainte de capacité. Deux grandes catégories de fournisseurs sont à distinguer : ceux dont la capacité peut être qualifiée d'infinie compte tenu des moyens de production et des besoins exprimés par PFDC et ceux dont la capacité est limitée ;
  - le délai d'obtention (temps réel de production) varie entre 1 ou 2 semaines ;
  - le délai de transport varie entre 1 et 3 semaines ;
  - le délai de livraison (temps de commande officiel entre PFDC et le fournisseur) : varie de 3 à 12 semaines suivant le type de produits ;
  - les tailles de lots de production : les références analysées dans cette étude peuvent être caractérisées par des temps de réglage très important vis à vis du temps unitaire et donc entrainer des charges de production nécessitant plus d'une semaine de production ;
- les caractéristiques des fournisseurs en terme d'aléas auxquels ils sont confrontés :
  - problèmes de rebut : le contexte pharmaceutique accentue l'ampleur des conséquences des rebuts puisque les productions sont rebutées par lot entier (et non à la référence de produit) ;
  - problèmes de retard sur la livraison : les localisations de certaines unités de fournisseurs peuvent entrainer des contraintes logistiques fortes (par exemple : nombre limité de transports disponibles par semaine). Pour PFDC, ces contraintes se matérialisent par une non maîtrise du délai de livraison de la part du fournisseur (entre 1 et 3 semaines).

#### **4.1.2 Limites de l'analyse (aléas et décisions étudiées)**

Au stade actuel d'avancement de nos travaux, nous n'avons pas analysé l'impact de la totalité des risques (et de leurs interactions) que nous venons de citer. Tous ont été jugés susceptibles de constituer une situation à risque pour la collaboration (surtout évaluée par PFDC en termes de rupture en conditionnement). Or, certaines analyses préliminaires sont venues confirmer la domination du protocole engagement sur approvisionnement sur les traditionnelles commandes à 12 semaines, et cela, quelque soit le contexte.

Compte-tenu de la variabilité du besoin brut (en grande partie générée par les processus internes PFDC), les premières simulations n'ont fait que confirmer les nombreuses ruptures<sup>1</sup> engendrées par le mode de collaboration classique. Dans la réalité, celui-ci est caractérisé par une gestion quasi journalière de commandes à passer en urgence du fait de la variation de besoin depuis le passage de la commande n semaines auparavant.

En garantissant pour le fournisseur un haut volume d'approvisionnement (possibilité de grouper les productions) et en permettant un appel à la semaine de la part de PFDC qui lui permet de se couvrir d'une grande partie de la variabilité du besoin, le protocole engagement sur approvisionnement semble constituer une « bonne » réponse aux difficultés du mode classique.

---

<sup>1</sup> Le terme rupture réfère ici à un manque de produit de conditionnement au moment de lancer l'OF de conditionnement en production. En d'autres termes, il s'agit ici d'un besoin brut réel (au sens non prévisionnel) d'une période que la partie « supply » n'a pas été capable de fournir

Ce dernier pâtit d'un trop fort décalage entre le délai de commande et la variabilité sur le besoin qui va avoir lieu à l'intérieur de celui-ci.

Pourtant, la gestion quasi-quotidienne de commandes urgentes semble indiquer la capacité des fournisseurs (ou du moins de certains) à baisser ces délais de commande (pour certains cette baisse est même effective). Notre démarche va donc consister à identifier des situations où le passage à un protocole engagement sur approvisionnement se justifie « moins ». Pour cela, nous ferons l'hypothèse qu'un mode de collaboration à délai réduit (<12 semaines) est possible.

#### 4.1.2.1 Aléa(s) étudié(s)

Dans ce cas d'application, nous allons analyser une situation de collaboration entre PFDC et un fournisseur qui porte sur l'approvisionnement de trois produits (qui appartiennent au même segment dans le protocole engagement sur approvisionnement). Nous intéresserons particulièrement aux sources de risques suivantes :

- la variabilité du besoin brut sous toutes ses formes. Une place particulière sera tout de même réservée aux perturbations « tardives » de la part des prévisionnistes PFDC. Pour cela cinq types de *comportement aval* (aléa noté **A<sub>1</sub>**) seront considérés :
  - **MP** : aval Moyennement Perturbé. Nous utiliserons ici les plans de besoins bruts des produits P1, P2 et P3 générés lors de la phase de validation<sup>1</sup> ;
  - **FPH** : aval Fortement Perturbé à la Hausse. Non seulement, toutes les chances d'apparitions de perturbations ont été augmentées vis à vis du type MP, mais en plus les modifications de type « apparition » ou « anticipation » de besoins ont été privilégiées par rapport aux types « diminution » et « report » ;
  - **FPB** : aval Fortement Perturbé à la Baisse. Amplification des chances de perturbation du type MP mais avec des modifications de besoins de type « diminution » ou « report » ;
  - **PP** : aval Peu Perturbé. Diminution des perturbations à un niveau inférieur que celui du type MP ;
  - **PTH** : aval perturbé par des changements de Prévisions Tardives (à la Hausse). Si le plan de besoin reste légèrement perturbé sur tout l'horizon du plan, des apparitions, des augmentations et des anticipations de besoins interviennent entre la 6<sup>ème</sup> et la 11<sup>ème</sup> semaine du plan.
  - **PTB** : aval perturbé par des changements de Prévisions Tardives (à la Baisse). Comme pour le PTH, si le plan de besoin reste légèrement perturbé sur tout l'horizon du plan, des diminutions et des reports de besoins interviennent entre la 6<sup>ème</sup> et la 11<sup>ème</sup> semaine du plan.
- les problèmes du fournisseur en terme de *taux de rebut* en production (aléa noté **A<sub>2</sub>**). Nous considérerons ici que si un événement de type rebut apparaît alors tous les produits du lots sont perdus. Trois niveaux de vraisemblance pour cet événement seront alors considérés.
  - **0,01** : le fournisseur rebute 1 lot sur 100 ;
  - **0,05** : le fournisseur rebute un lot sur 20 ;
  - **0,1** : le fournisseur rebute un lot sur 10 ;

<sup>1</sup> Le qualificatif moyen est ici employé car tous les autres types de comportements aval ont été généré à partir de cette « référence » (en accentuant ou diminuant les perturbations)

#### 4.1.2.2 Protocole(s) étudié(s)

Le *choix du protocole* (décision notée  $D_1$ ) et son *réglage* (décision notée  $D_2$ ) constituent des décisions importantes dans la gestion de la collaboration. Deux temps seront considérés dans cette analyse :

- D'abord, une analyse en ne considérant que les protocoles existants :
  - **Commande**, dont les réglages concernent le délai associée à celle-ci : **6, 8** ou **12** semaines ;
  - **Engagement sur approvisionnement**, dont le réglage porte sur le niveau de la quantité minimum à affermir sur le segment : **100000, 150000** ou **200000** ;
- Ensuite, en ajoutant à la liste des choix possible un protocole de type :
  - **Flux tiré**, dont le réglage touche au niveau de couverture du stock de produits en stock chez le fournisseur (quantité d'en-cours de sécurité) : **2, 3** ou **4** semaines.

#### 4.1.2.3 Comportement(s) étudié(s)

Cette étude ne prend en compte qu'un seul comportement individuel d'acteur. Il s'agit de la décision du fournisseur concernant sa *taille de lot* de production (décision notée  $D_3$ ). Trois tailles de lots seront alors considérées : **10000, 50000** ou **100000** produits.

#### 4.1.2.4 Autres hypothèses

Notons au passage que différentes hypothèses permettent de définir le fournisseur (celles-ci donnent un aperçu du réglage de l'agent fournisseur dans le modèle de simulation LogiRisk qui sera utilisé, voir chapitre 3) :

- type de prévision externe : il reçoit toujours des prévisions de la part de PFDC,
- couverture de stock variable suivant le protocole : pas de couverture avec les engagements sur approvisionnement, 2 semaines en mode classique (commande) et ajustable en flux tiré (cf. réglage du protocole flux tiré) ;
- délai d'obtention de 2 semaines ;
- délai de livraison de 1 semaine ;
- les trois produits P1, P2 et P3 fabriqués à partir du même composant C approvisionné chez un fournisseur « parfait » (voir modèle amont au chapitre 3) ;
- type de macro-ordonnancement : ordre croissant de taille d'OF ;
- stratégie de gestion des variations de capacité qui consiste à accorder 80% de la variation demandée (taux d'acceptation  $\delta = 0,8$ ). Délai d'application de la décision de capacité de 2 semaines avec un ramp-up de 10000 ;
- lissage de la production sur 2 semaines.

#### 4.1.2.5 Bilan

Le Tableau 6.6 résume les aléas, protocoles et comportements auxquels nous allons nous intéresser dans cette étude ainsi que les notations associées.

Facteur	Désignation	Niveaux	Désignation
A <sub>1</sub>	Types de comportements de l'aval	MP	Moyenne Perturbation (données réelles)
		FPH	Fortes Perturbations à la Hausse (MP <sup>++</sup> )
		FPB	Fortes Perturbations à la Baisse (MP <sub>++</sub> )
		PP	Peu de Perturbations (MP--)
		PTH	modifications de Prévision Tardives à la Hausse
		PTB	modifications de Prévision Tardives à la Baisse



Facteur	Désignation	Niveaux	Désignation
$A_2$	Rebut fournisseur	0,01	Taux de rebut ( $\in [0,1]$ )
		0,05	
		0,1	
$D_1$	Choix du protocole	Commande	Flux poussé classique
		Eng. Appro.	Engagement sur approvisionnement
		Tiré	Flux tiré
$D_2$	Réglage du protocole	$r_1$	Délai de commande (commande) : 6, 8, 12 (semaines)
		$r_2$	Minimum Segment (eng. appro.) : 100000, 150000, 200000 (produits)
		$r_3$	Couverture fournisseur: 2, 3, 4 (semaines)
$D_3$	Choix taille de lot de production fournisseur	10000	nb de produits
		50000	
		100000	

**Tableau 6.6 : Résumé des notations utilisées**

Comme annoncé en introduction, deux situations de décision ont été définies :

- une situation où les aléas sont avérés et définissent une situation à la laquelle il faut adapter le système (Pb1) ;
- une situation où les aléas sont potentiels et définissent une situation à laquelle il faut préparer le système (Pb2).

La réponse à ces deux problèmes a donné lieu à la mise en œuvre de notre démarche d'aide à la gestion de la collaboration par le management des risques. Celle-ci repose sur l'utilisation de LogiRisk pour simuler les conséquences de ces décisions et aléas sur l'exploitation de la chaîne. Par conséquent, et pour éviter de raisonner sur un cas particulier, 7 réplifications d'un même scénario ont été simulés (7 racines)<sup>1</sup>.

## 4.2 Pb1 : Quelle collaboration dans un contexte donné ?

Cette première question adressée par PFDC souligne le souci des décideurs de pouvoir rapidement statuer sur la pertinence du passage d'un protocole poussé classique au nouveau protocole (engagement sur approvisionnement) dans une situation connue. Pour des contextes définis, il s'agit de savoir quelle collaboration mettre en place.

Appliquons désormais notre démarche.

### 4.2.1 Etape 1

*Une aide à la décision, mais pour qui et pour quelle(s) décision(s) ?*

Dans cette étude nous allons chercher à aider PFDC dans le choix du type de protocole ( $D_1$ ) à mettre en place avec chaque fournisseur (décision principale). Au regard de ce qui a été dit plus haut, deux situations de décisions seront considérées :

- $S_{D1}$  = ['commande'; 'engagement sur approvisionnement']
- $S'_{D1}$  = ['commande'; 'engagement sur approvisionnement', 'flux tiré'].

La seconde décision ( $D_2$ ) de PFDC concernera le réglage associé à ce protocole ( $S_{D2}$  = [ $r_1$ ; ' $r_2$ ', ' $r_3$ '], voir plus haut), la troisième concernera le choix de la taille de lot de production par le fournisseur ( $D_3$ ) ( $S_{D3}$  = ['10000'; '50000', '100000']).

*Des décisions, mais quels objectifs ?*

Au travers de toute cette analyse, quatre indicateurs de performance seront utilisés pour caractériser chaque scénario. Ils sont décrits dans le Tableau 6.7.

<sup>1</sup> voir notion de racine pour la génération de nombres aléatoires au chapitre 3

Nom	Intitulé	Explications	Formule de calcul	Exemple d'analyse
$I_1$	Rupture moyenne PFDC	Pour chaque produit ( $p \in P=[P1;P2;P3;P4]$ ), la rupture PFDC (besoin exprimé par l'aval pour la période non couvert par PFDC) moyenne est calculée sur l'horizon d'analyse $T$ (valeur de rupture prise pour chaque période $t \in T$ ). Celle-ci est ensuite divisée par la demande moyenne reçue de l'aval pour ce produit $p$ sur l'ensemble de la période d'analyse (besoins bruts de composants) pour l'exprimer en nombre de semaines de demande. Enfin, la rupture moyenne PFDC est la moyenne sur les quatre produits du calcul précédent.	$I_1 = moy_{p \in P} \left( \frac{moy_{t \in T} \left( rupt^{BB}(p, t) \right)}{moy_{t \in T} \left( dde^{BB}(p, t) \right)} \right)$	Si $I_1 = 1,5$ , il est possible de dire qu'en moyenne la quantité en rupture chez PFDC correspond à 1,5 semaine de demande moyenne (demande = besoins bruts aval)
$I_2$	Rupture moyenne fournisseurs	Pour chaque produit ( $p \in P=[P1;P2;P3;P4]$ ), la rupture fournisseur (besoin exprimé par PFDC pour la période non couvert par le fournisseur) moyenne est calculée sur l'horizon d'analyse $T$ (valeur de rupture prise pour chaque période $t \in T$ ). Celle-ci est ensuite divisée par la demande moyenne reçue de PFDC pour ce produit $p$ sur l'ensemble de la période d'analyse. De même, la rupture moyenne fournisseur est une moyenne sur les quatre produits du calcul précédent.	$I_2 = moy_{p \in P} \left( \frac{moy_{t \in T} \left( rupt^{fourn}(p, t) \right)}{moy_{t \in T} \left( dde^{PFDC}(p, t) \right)} \right)$	Si $I_2 = 1,5$ , il est possible de dire qu'en moyenne la quantité en rupture chez le fournisseur correspond à 1,5 semaine de demande moyenne (demande = demande PFDC)
$I_3$	Stock moyen composants PFDC	Pour chaque produit ( $p \in P=[P1;P2;P3;P4]$ ), le stock moyen PFDC est calculé sur l'horizon d'analyse $T$ (valeur de stock prise pour chaque période $t \in T$ ). puis divisé par la demande moyenne reçue de l'aval pour ce produit $p$ sur l'ensemble de la période d'analyse (besoins bruts de composants). Enfin, une moyenne de ces stocks moyens exprimés en fonction de la demande moyenne reçue est calculée sur l'ensemble des quatre produits	$I_3 = moy_{p \in P} \left( \frac{moy_{t \in T} \left( stock^{PFDC}(p, t) \right)}{moy_{t \in T} \left( dde^{BB}(p, t) \right)} \right)$	Si $I_3 = 1,5$ , il est possible de dire qu'en moyenne PFDC a 1,5 semaine de demande en stock (demande = besoins bruts aval)
$I_4$	Stock moyen produits finis fournisseurs	Pour chaque produit ( $p \in P=[P1;P2;P3;P4]$ ), le stock moyen fournisseur est calculé sur l'horizon d'analyse $T$ (valeur de stock prise pour chaque période $t \in T$ ). puis divisé par la demande moyenne reçue de PFDC pour ce produit $p$ sur l'ensemble de la période d'analyse (demandes PFDC à livrer sur la période pour le produit $p$ ). Enfin, une moyenne de ces stocks moyens exprimés en fonction de la demande moyenne reçue est calculée sur l'ensemble des quatre produits	$I_4 = moy_{p \in P} \left( \frac{moy_{t \in T} \left( stock^{fourn}(p, t) \right)}{moy_{t \in T} \left( dde^{PFDC}(p, t) \right)} \right)$	Si $I_4 = 5$ , il est possible de dire qu'en moyenne, le fournisseur a 1,5 semaine de demande en stock (demande = demande PFDC au fournisseur)

Tableau 6.7 : Définition des indicateurs suivis

Le Tableau 6.8 associe à chaque décision considérée le ou les indicateurs de performance associés.

Décision		Indicateur(s) de performance suivi(s)	
Notation	Désignation	Notation	Désignation
D <sub>1</sub>	Type protocole	I <sub>1</sub>	Rupture moyenne PFDC
D <sub>2</sub>	Réglage protocole	I <sub>1</sub> (0,5), I <sub>3</sub> (0,5)	Rupture moyenne PFDC et Stock moyen composants PFDC (même poids)
D <sub>3</sub>	Taille lot fournisseur	I <sub>4</sub> (0,5), I <sub>2</sub> (0,5)	Stock moyen produits finis fournisseurs et Rupture moyenne fournisseurs(même poids)

Tableau 6.8 : Association décision-indicateurs de performance

*Quels sont les aléas qui risquent de perturber le système ?*

Dans le Pb1, les aléas **A<sub>1</sub>** et **A<sub>2</sub>** ne seront pas intégrés à la structure de décision puisque leur occurrence est avérée. En revanche, nous avons considéré l'existence de différentes répliques d'un même scénario comme un aléa particulier (aléa noté **A<sub>3</sub>**). Les 7 répliques de chaque scénario seront agrégées par moyenne.

*Quelle est la structure du processus de décision ?*

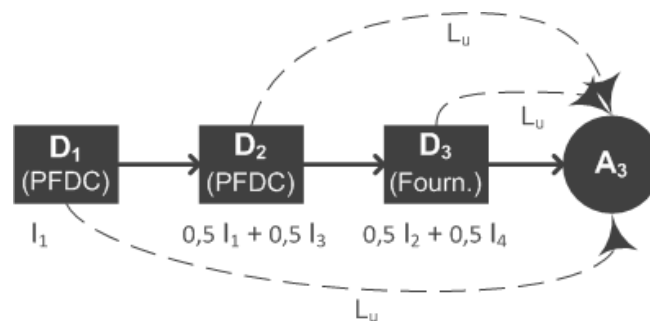


Figure 6.4 : Structure du processus de décision (Pb1)

Ce qui permet de construire l'arbre de décision suivant Figure 6.5 :

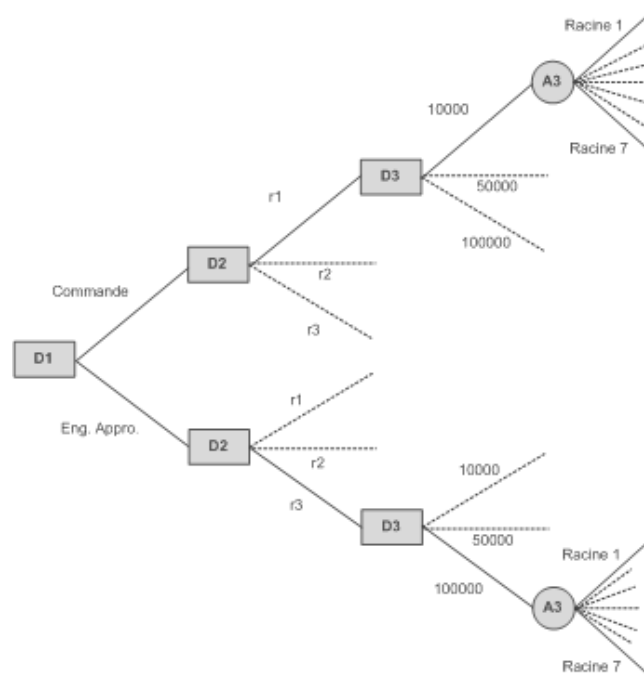


Figure 6.5 : Arbre de décision non valué ( $Pb_1$ )

#### 4.2.2 Etape 2 (évaluation LogiRisk)

L'ensemble des scénarios induits par cette structure ont générés 189 expériences. Chacune d'elle a été réalisée pour un contexte donné. L'ensemble des contextes analysés est obtenu par les combinaisons des niveaux de  $A_1$  et  $A_2$  ( $6 \times 3 = 18$ ), soit un total de 3402 expériences.

Chaque expérience a été simulée sur 260 périodes (semaines). Les 52 premières semaines ont servi d'initialisation (toutes avec un protocole classique) afin d'obtenir un état stationnaire. A la 53<sup>ème</sup> les valeurs de  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  sont instanciées. Les indicateurs de performances sont relevés dans l'intervalle d'analyse  $T = [104 ; 208]$  une fois passé le régime transitoire lié au changement des décisions.

Nous obtenons l'arbre de décision avec les feuilles valuées suivant (Figure 6.6) :

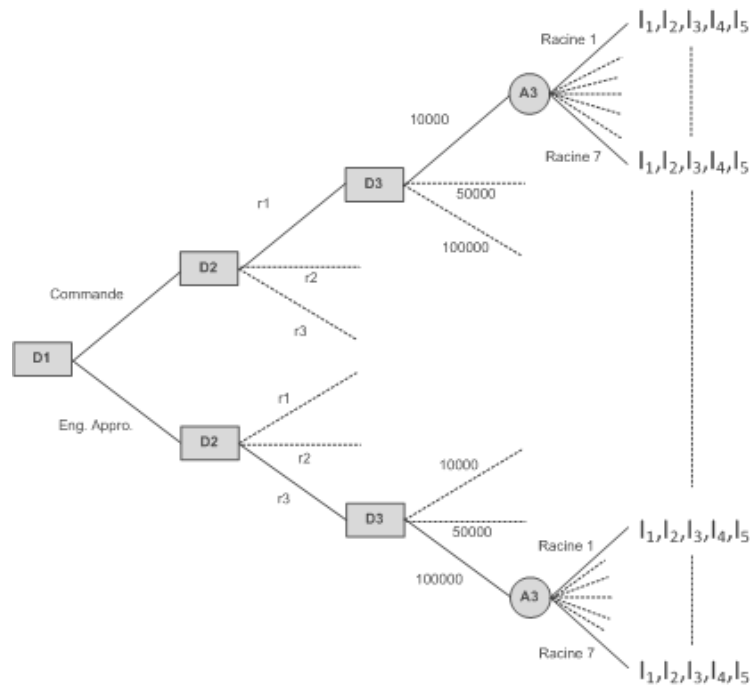


Figure 6.6 : Arbre de décision valué ( $Pb_1$ )

### 4.2.3 Etape 3 (évaluation Trisk)

La Figure 6.7 illustre le résultat du traitement de l'arbre précédent (dans le cas  $S_{D1}$ , FPH, 0,01). Le chemin en gras fait apparaître les dominances sur les nœuds de décisions compte tenu des hypothèses formulées dans la structure.

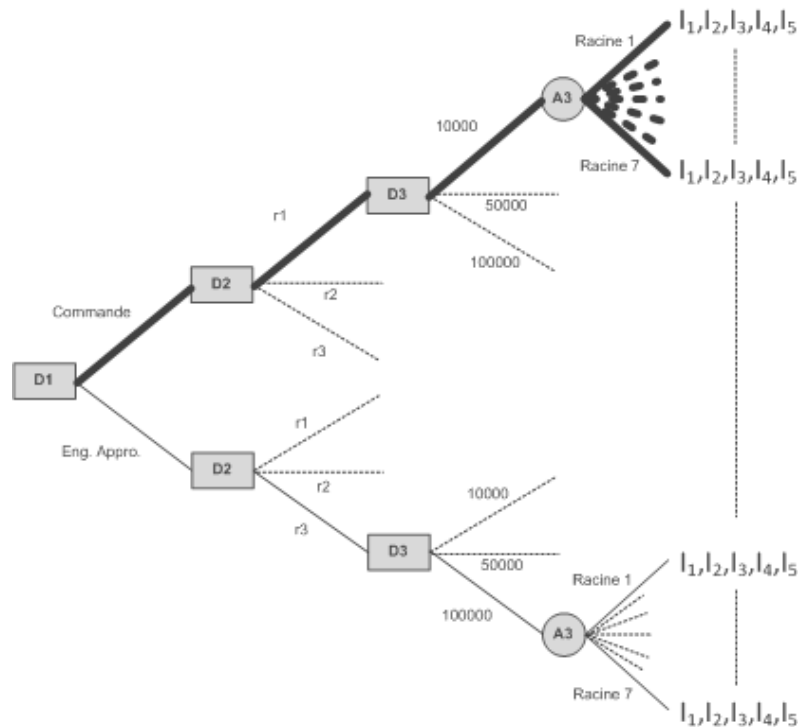


Figure 6.7 : Exemple de traitement de l'arbre déduit de la structure du processus de décision ( $Pb_1$ )

Ce traitement a été réalisé plusieurs fois. Le Tableau 6.9 résume les différents traitements réalisés pour l'arbre de décisions. La colonne « Dominances » reprend le chemin en gras qui serait apparu si nous avions tracé tous les arbres ainsi traités. Nous avons fait varier la situation de décision (présence ou non de l'alternative flux tiré) ( $S_{DI}$  ou  $S'_{DI}$ ). Ces deux situations ont entraîné deux analyses de variances différentes (resp. Analyse de Variance 1 en Annexe 6, et Analyse de Variance 2 en Annexe 7. Dans les deux cas, les décisions observées ont une influence significative sur les indicateurs de performance associés à chacune d'elles.

Dans le Tableau 6.9, nous avons résumé l'ensemble des simulations du processus de décisions (itérations dans le traitement de l'arbre). Toutes ces itérations s'appuient sur l'ensemble (ou un sous-ensemble) des expériences simulées dans LogiRisk.

Contexte (donné)		Différents traitements	Dominances		
Type Aval ( $A_1$ )	Rebut Fourn. ( $A_2$ )	Situation de décision	$D_1$	$D_2$	$D_3$
FPH	0.01	$S_{DI}$	Commande	r1	10000
	0.05		Commande	r1	10000
	0.1		Eng. Appro.	r3	10000
FPB	0.01		Eng. Appro.	r1	10000
	0.05		Eng. Appro.	r1	10000
	0.1		Eng. Appro.	r1	10000
MP	0.01		Eng. Appro.	r1	10000
	0.05		Eng. Appro.	r1	10000
	0.1		Eng. Appro.	r1	10000
PP	0.01		Eng. Appro.	r2	10000
	0.05		Eng. Appro.	r2	10000
	0.1		Eng. Appro.	r2	10000
PTH	0.01		Commande	r2	10000
	0.05		Commande	r2	10000
	0.1		Commande	r2	10000
PTB	0.01		Commande	r1	10000
	0.05		Commande	r1	10000
	0.1		Commande	r1	10000
FPH	0.01	$S'_{DI}$	Tiré	r3	10000
	0.05		Tiré	r2	10000
	0.1		Eng. Appro.	r3	10000
FPB	0.01		Tiré	r2	10000
	0.05		Tiré	r3	10000
	0.1		Tiré	r3	10000
MP	0.01		Tiré	r1	10000
	0.05		Tiré	r2	10000
	0.1		Tiré	r2	10000
PP	0.01		Tiré	r2	10000
	0.05		Tiré	r2	10000
	0.1		Tiré	r2	10000
PTH	0.01		Commande	r2	10000
	0.05		Tiré	r3	10000
	0.1		Commande	r2	10000
PTB	0.01		Commande	r1	10000
	0.05		Commande	r1	10000
	0.1		Tiré	r1	10000

Tableau 6.9 : Résultats itérations traitements de l'arbre Pb<sub>1</sub>

De manière générale, dans le cas où le flux tiré n'est pas une alternative possible, nous retrouvons bien la dominance majoritaire du protocole engagement sur approvisionnement sur le protocole à la commande. Néanmoins, pour les scénarios de comportements d'aval qui reflètent des perturbations tardives des plans de besoins bruts, les commandes à 6 ou 8 semaines ( $r_1$  ou  $r_2$ ) sont à privilégier.

D'un point de vue industriel, dans le cas  $S_{DI}$ , pour l'engagement sur approvisionnement, ces résultats viennent confirmer les risques engendrés par des comportements de l'aval reflétant des modifications :

- tardives du besoin prévisionnel (PTH, PTB) : compte tenu du délai d'engagement (la date de mise à disposition par le fournisseur de la quantité affermie ne peut être en dessous d'un délai 8 semaines), ce protocole est en difficulté face aux commandes à 6 semaines (contexte de modification à la baisse) et même à 8 semaines (contexte de modification à la hausse) ;
- fortes (FPH) : explications identiques aux cas PTH et PTB pour justifier la préférence de commandes à 6 semaines. Seul un problème de rebut avéré (chance de rebuter de 0,1%) chez le fournisseur peut favoriser l'engagement sur approvisionnement. Ceci s'explique par la diminution des fréquences de production chez le fournisseur.

Le choix du réglage du protocole est, quant à lui, influencé par le niveau de rebut du fournisseur. L'augmentation du délai de commande ou des quantités minimum sur le segment sont des moyens de réponse aux retards engendrés par les pertes de lots (le fournisseur rebute par lot entier). Cela explique les choix  $r_2$  ou  $r_3$  et non  $r_1$  pour une majorité des scénarios où le taux de rebut du fournisseur est de 0,1 (les différences ponctuelles s'expliquent ensuite suivant le type de perturbation du marché).

Dans le cas  $S'_{DI}$ , le protocole Tiré est à privilégier dans bon nombre de situations. Néanmoins, il est intéressant de noter la préférence à accorder au protocole Commande dans les cas de modifications tardives des prévisions. Notons également, que l'engagement sur approvisionnement est à préférer dans le cas de fortes perturbations (FPH) avec une haute chance de rebut chez le fournisseur.

Toutes ces analyses sont complétées par les valeurs des effets et des interactions calculées dans les analyses de variance 1 et 2.

## 4.3 Pb2 : Quelle collaboration dans un contexte probable ?

Plaçons-nous désormais dans le cas où le contexte (caractérisé ici par  $A_1$  et  $A_2$ ) n'est pas connu.

### 4.3.1 Etape 1

*Une aide à la décision, mais pour qui et pour quelle(s) décision(s) ?*

Comme pour le problème Pb<sub>1</sub>, nous allons chercher ici à aider PFDC dans le choix du type de protocole ( $D_1$ ) à mettre en place avec chaque fournisseur (décision principale). Au regard de ce qui a été dit plus haut, deux situations de décisions seront considérées :

- $S_{DI}$  = ['commande'; 'engagement sur approvisionnement']
- $S'_{DI}$  = ['commande'; 'engagement sur approvisionnement', 'flux tiré'].

La seconde décision ( $D_2$ ) de PFDC concernera le réglage associé à ce protocole ( $S_{D2}$  = [ $r_1$ ; ' $r_2$ ', ' $r_3$ '], voir plus haut), la troisième le choix de la taille de lot de production par le fournisseur ( $D_3$ ) ( $S_{D3}$  = ['10000'; '50000', '100000']).

*Des décisions, mais quels objectifs ?*

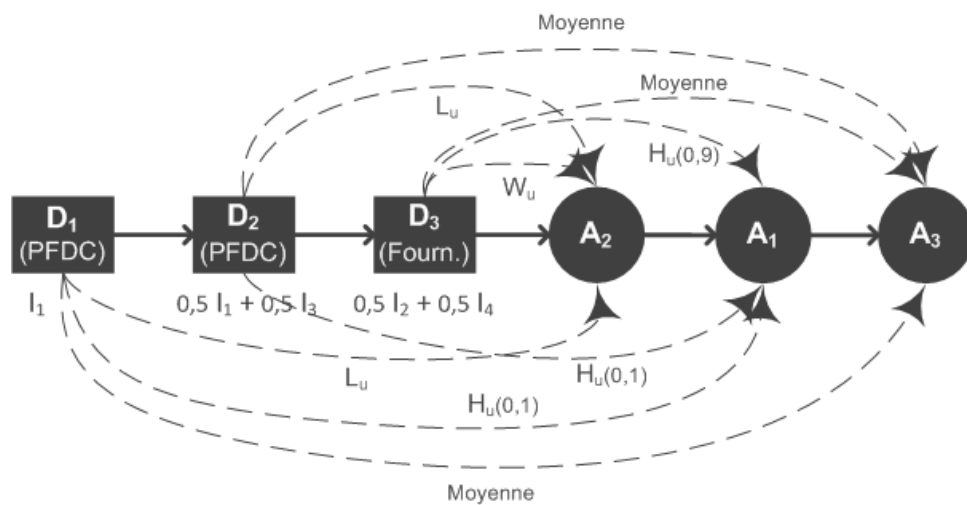
Nous reprenons ici les indicateurs utilisés au  $Pb_1$  et présentés dans le Tableau 6.7 et le Tableau 6.8.

*Quels sont les aléas qui risquent de perturber le système ?*

A l'image de ce qui a été fait pour le traitement du  $Pb_1$ , les décideurs devront intégrer l'aléa  $A_3$ . En revanche, dans le cas du  $Pb_2$ , ils devront également prendre en compte  $A_1$  et  $A_2$  (considérés ici comme aléas potentiels). Nous renvoyons plus haut dans ce chapitre pour la description des alternatives pour chacun d'eux.

*Quelle est la structure du processus de décision ?*

La Figure 6.8 donne une première version de la structure de décision ainsi construite. Nous parlons ici de première version puisqu'à l'étape 3 nous allons faire plusieurs itérations de l'arbre de décisions, qui en est déduit, en faisant varier certains éléments comme la perception.



**Figure 6.8 : Structure du processus de décision ( $Pb_2$ )**

Ce qui permet de construire l'arbre de décision suivant (Figure 6.9) :



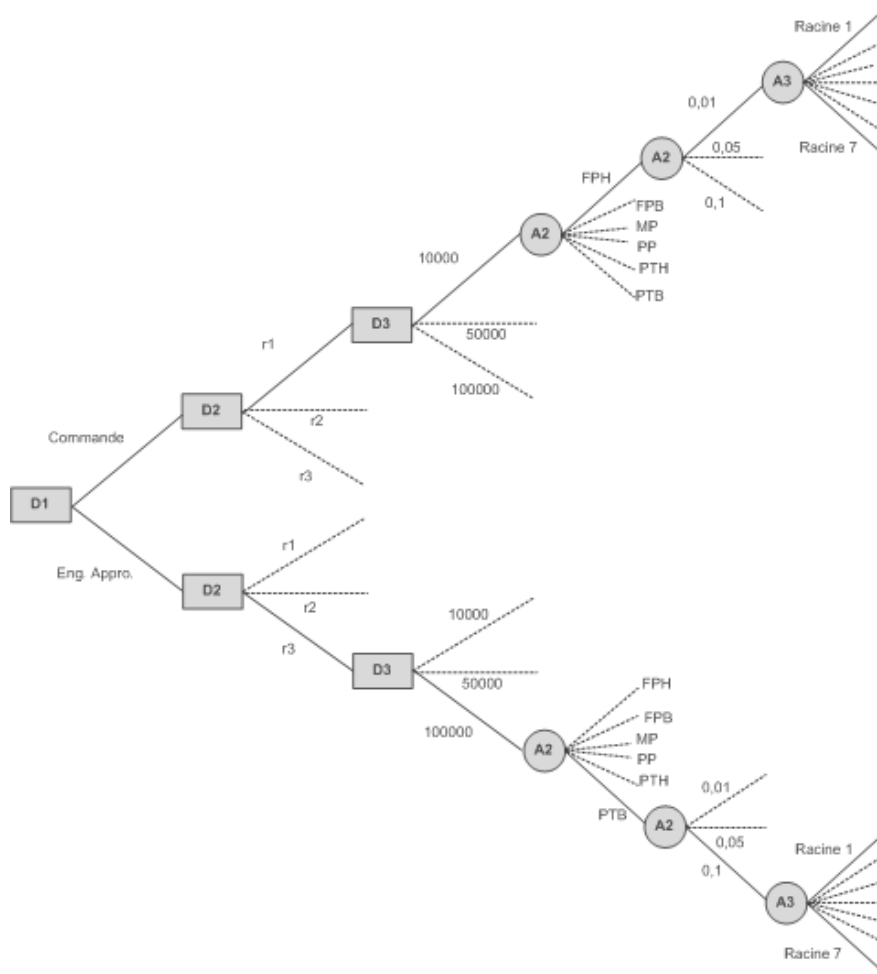


Figure 6.9 : Arbre de décision non valué (Pb<sub>2</sub>)

### 4.3.2 Etape 2

Les expériences générées par cette structure sont exactement les mêmes que celles réalisées dans l'étape 1. Par conséquent, les conclusions de l'analyse de la variance restent donc valides et nous pouvons valuer l'ensemble des feuilles de l'arbre présenté en Figure 6.10.

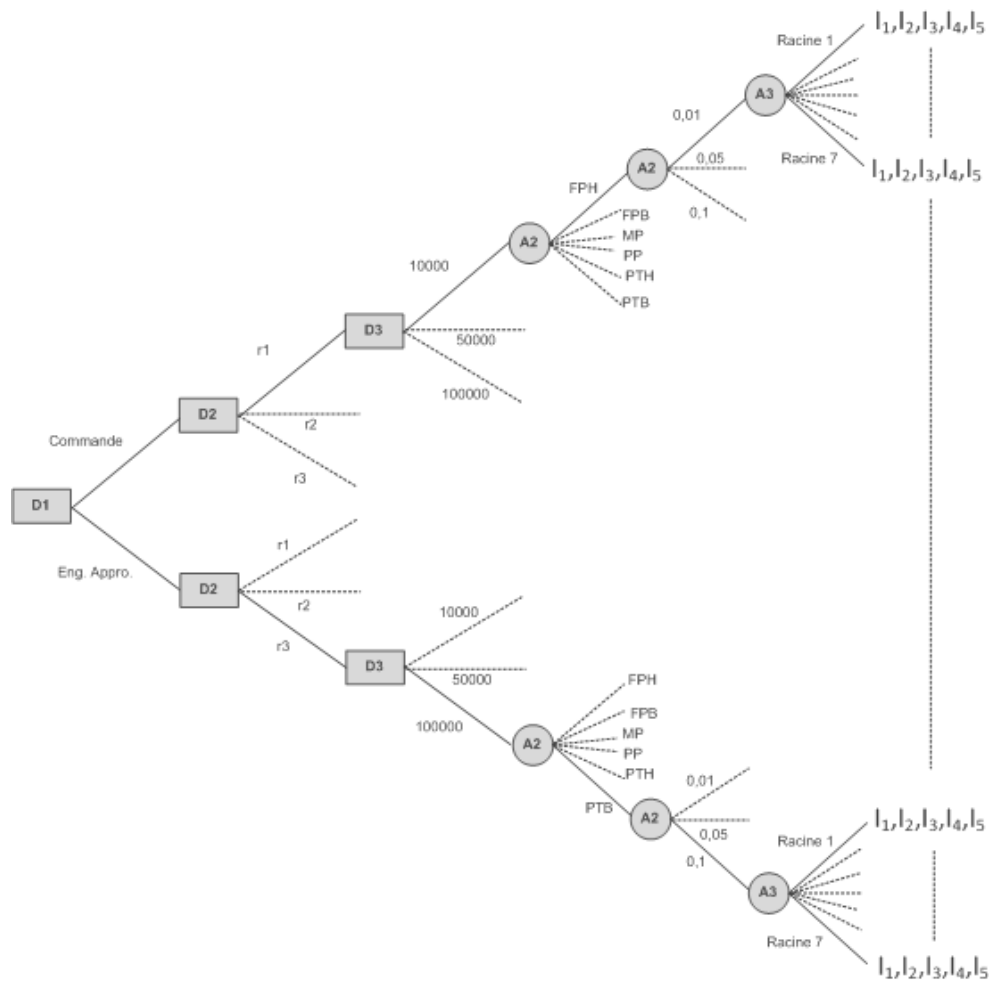


Figure 6.10 : Arbre de décision valué ( $Pb_2$ )

### 4.3.3 Etape 3

La Figure 6.11 illustre le résultat du traitement de l'arbre de l'étape 1 (dans le cas  $S_{D1}$ ). Le chemin en gras fait apparaître les dominances sur les nœuds de décisions compte tenu des hypothèses formulées dans la structure.

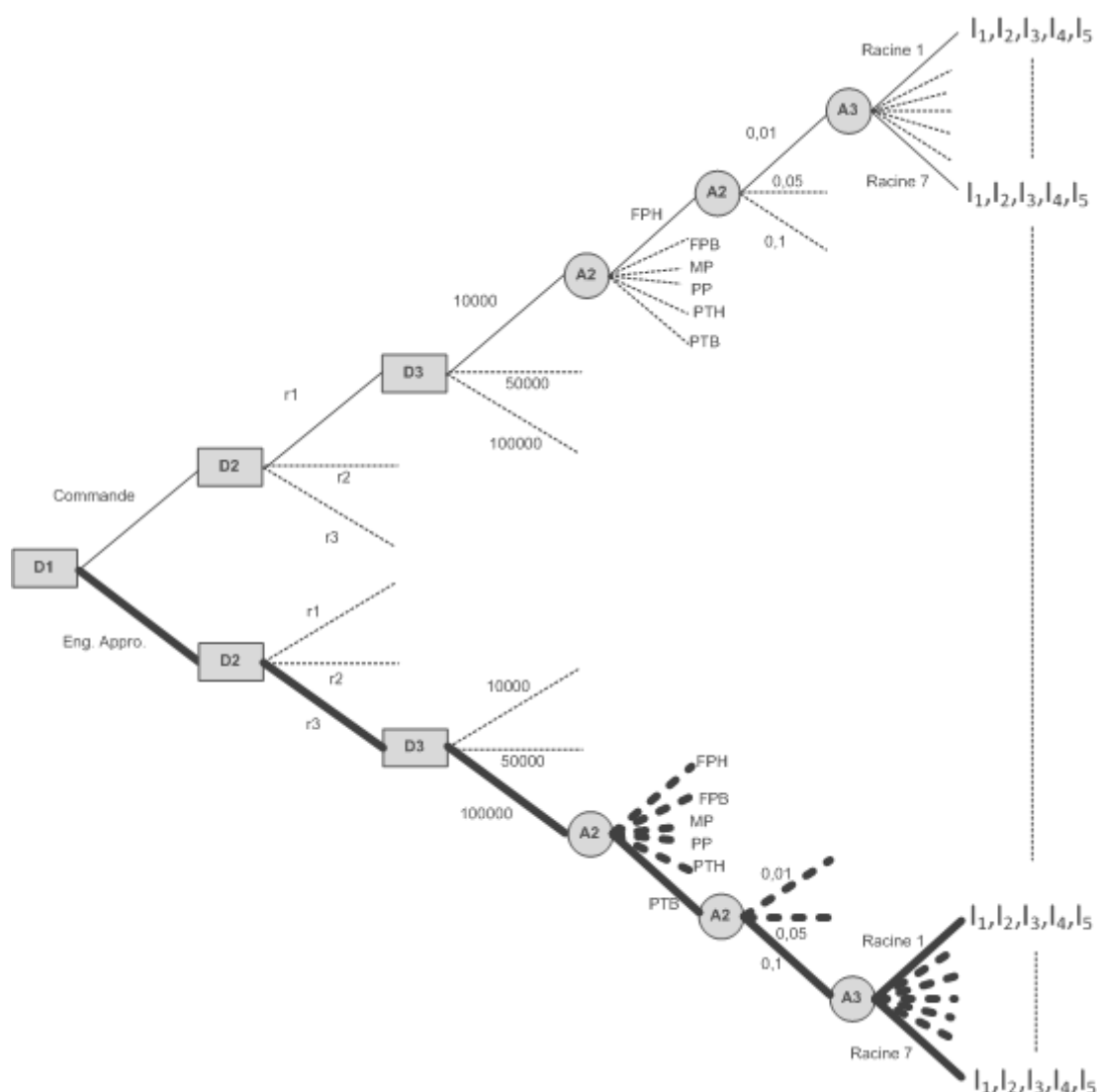


Figure 6.11 : Exemple de traitement de l'arbre déduit de la structure du processus de décision ( $Pb_2$ )

Ce traitement a été réalisé plusieurs fois. Le Tableau 6.10 fournit les résultats des différentes itérations de traitement de l'arbre où nous avons fait évoluer la vision des décideurs sur les aléas potentiels.

Différents traitements					Dominances		
Vision de $A_1$ pour $D_1$ et $D_2$	Vision de $A_2$ pour $D_1$ et $D_2$	Vision de $A_1$ pour $D_3$	Vision de $A_2$ pour $D_3$	Situation de décision	$D_1$	$D_2$	$D_3$
Hurwitz (0,1)	Laplace	Hurwitz (0,9)	Wald	$S_{D1}$	Eng. Appro.	r3	10000
Hurwitz (0,9)	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Commande	r1	10000
Hurwitz (0,9)	Laplace	Hurwitz (0,9)	Wald		Commande	r1	10000
Hurwitz (0,1)	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Eng. Appro.	r3	10000
MinMax Regret	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Commande	r1	10000
Wald	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Commande	r1	10000
Laplace	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald	$S'_{D1}$	Eng. Appro.	r1	10000
Hurwitz (0,9)	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Tiré	r3	10000
Hurwitz (0,1)	Laplace	Hurwitz (0,9)	Wald		Tiré	r2	10000
Hurwitz (0,9)	Laplace	Hurwitz (0,9)	Wald		Tiré	r3	10000
Hurwitz (0,1)	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Tiré	r2	10000
MinMax Regret	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Tiré	r3	10000

Différents traitements					Dominances		
Vision de $A_1$ pour $D_1$ et $D_2$	Vision de $A_2$ pour $D_1$ et $D_2$	Vision de $A_1$ pour $D_3$	Vision de $A_2$ pour $D_3$	Situation de décision	$D_1$	$D_2$	$D_3$
Wald	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Tiré	r3	10000
Laplace	Laplace	Hurwitz (0,1)	Wald		Tiré	r3	10000

Tableau 6.10 : Résultats itérations traitements de l'arbre  $Pb_2$ 

Il est intéressant de voir apparaître assez régulièrement le protocole classique à la commande. En fait cela s'explique, selon nous, par la présence des scénarios PTH et PTB qui conviennent mal à l'engagement d'approvisionnement. Si sur les quatre autres comportements d'aval, ce dernier domine, cette domination n'est pas assez forte pour « rattraper » la domination subie cette fois-ci en face d'un comportement de l'aval perturbé par des changements de Prévisions Tardives à la Hausse (PTH) ou à la Baisse (PTB). Par conséquent, dès lors que les décideurs accordent beaucoup d'importance aux « pires situations » (Hurwitz avec  $\alpha$  grand, Wald ou MinMax Regret), le protocole classique prend le dessus.

Un regard global sur le tableau fait également apparaître une nette domination du flux tiré sur les deux autres protocoles dans le cas  $S'_{D1}$ . Si cette domination du tiré sur l'engagement d'approvisionnement n'est pas étonnante en ce qui concerne les comportements de l'aval perturbé par des changements de Prévisions Tardives à la Hausse (PTH) ou à la Baisse (PTB), la préférence accordée au flux tiré quelque soit la vision du risque est une information importante. Surtout, si nous analysons en parallèle les tableaux 6.9 ( $Pb_1$ ) et 6.10 ( $Pb_2$ ), nous pouvons constater que les situations connues dans le  $Pb_1$  où Commande ou Eng. Appro. étaient préférées ne pèsent pas beaucoup dans le  $Pb_2$ . Cela pourrait refléter une dominance moyenne ou faible de Commande ou Eng. Appro. dans ces situations au  $Pb_1$ .

## 5 Conclusion et discussion

Ce chapitre présente une application concrète de notre démarche d'aide à la gestion de la collaboration dans le contexte d'une chaîne logistique du secteur de la dermo-cosmétique. Ce cas d'étude nous a permis de tirer un certain nombre de conclusions (§5.1) mais a aussi révélé quelques améliorations nécessaires (§5.2).

### 5.1 Les résultats obtenus

D'un point de vue industriel, ce problème de gestion de la collaboration décliné sous deux problèmes (contexte connu ou contexte probable) montre qu'il peut-être risqué d'automatiser le protocole engagement sur approvisionnement dans toutes les situations. Ce dernier est clairement en difficulté face à de fortes perturbations des besoins bruts de composants. Surtout, l'impact de perturbations tardives, telles que des prévisions de filiales qui parviennent à court ou moyen terme, est plus fort avec ce nouveau protocole.

Nous avons également répondu à ces deux problèmes de deux manières : avec les modes de collaborations existants (commande et engagement sur approvisionnement) et en proposant un autre mode (le flux tiré). Les bons résultats obtenus montrent qu'il faudrait poursuivre les réflexions sur cette possibilité.

D'un point de vue académique, nous retenons surtout les « changements de décision » induits par les changements d'attitude face au risque. Les résultats en termes de performance logistique sont trop spécifiques au contexte PFDC pour pouvoir être facilement généralisable. En revanche, cette étude illustre parfaitement la sensibilité des décisions de gestion de la collaboration aux attitudes des décideurs face au risque. Une démarche d'aide à la décision telle que nous la proposons semble donc se justifier (au moins dans certains contextes).

Cette étude a également permis de présenter une application concrète de l'effort de modélisation d'un système réel complexe. La plus grosse partie du travail a consisté dans la construction et le paramétrage du modèle de simulation de l'exploitation de la chaîne (LogiRisk). Au regard du travail de validation qui a été décrit, l'utilisation de modèles à fort niveau d'agrégation semble se justifier.

## 5.2 Perspectives d'amélioration

D'un point de vue industriel, l'analyse qui a été faite ici constitue une première phase d'étude sur la question de la collaboration chez PFDC. En effet, à la section 4.4.1 de ce chapitre, nous avons dressé une liste de sources de risques qui n'ont pas toutes fait l'objet d'investigations à l'heure actuelle. Par exemple, si la réflexion sur les caractéristiques (notamment les comportements fournisseurs) a été entamée, celle-ci devra permettre d'évaluer l'influence des caractéristiques du fournisseur dans le choix du protocole. Alors que jusqu'ici, le comportement fournisseur a été réduit au choix des tailles de lots de production. Aux vues des possibilités de l'outil de simulation de l'exploitation de la chaîne (LogiRisk), la prochaine phase de l'étude devra se pencher sur la sensibilité du choix de protocole à des facteurs tels que la gestion des variations de capacité ( $\delta$ ), la stratégie de production (poussé/tiré), la couverture de stock, les pannes, les retards (production, transport)...

D'un point de vue académique, la première perspective touche à notre modèle de simulation (modèle aval). Il nous reste aujourd'hui à mener une étude plus précise pour être capable de mesurer les effets et interactions de tous les paramètres de contrôle du modèle. Connaître ces effets pourrait s'avérer être une source de gain de temps conséquente lorsqu'il s'agira, dans le futur, d'instancier le modèle de simulation pour un contexte donné. En d'autres termes, il nous faut mieux caractériser l'influence de chacun de nos paramètres afin de mieux les contrôler.

L'analyse de la sensibilité de l'approche que nous proposons représente sans nul doute un autre axe important de nos futures recherches. Le premier point à soulever est la difficulté actuelle à quantifier la dominance d'un choix sur l'autre. Ainsi, si l'information sur la dominance et le contexte dans lequel elle s'inscrit sont importants, il n'en demeure pas moins important d'être capable d'évaluer la « proximité » des autres solutions. Compte-tenu de notre niveau d'abstraction, la modélisation proposée et donc les éléments de performance que nous remontons ne peuvent caractériser parfaitement le système réel observé et perçu. Il faut donc admettre que nous ne faisons que participer à une démarche de prise d'information de la part du décideur, démarche qui sera complétée par d'autres formes et sources de connaissance plus ou moins formalisées et formalisables. Être capable d'évaluer la distance des choix que nous proposons sera donc un élément de critique/justification indispensable à l'utilisation de cette nouvelle information par le décideur. Plus que des préférences, il faudra envisager de retourner des mesures pour chacune des possibilités qui nous permettront de les comparer.

Nous pourrions ajouter qu'au travers de ce cas d'étude apparaît un certain manque (déjà souligné aux chapitres 1 et 4) dans notre étape d'identification. Actuellement, elle se base quasi exclusivement sur des opinions d'experts et non sur une démarche formalisée qui pourrait nous aider à établir un meilleur lien entre événements, situations, perceptions de ces situations et indicateurs de performance pour les évaluer. Aujourd'hui, notre gestion du multicritère pour traduire les préférences des décideurs en termes d'indicateurs de performance suivis peut nous mettre en défaut. Il ne s'agit pas tant des capacités de l'outil LogiRisk à mesurer des indicateurs. Il permet de ressortir une vaste gamme d'indicateurs à tous les niveaux des processus de pilotage de la chaîne (en phase d'exploitation). Il s'agit plutôt des capacités de l'outil Trisk à les utiliser pour coller au mieux aux perceptions des décideurs mais aussi, en amont, du manque de formalisation de l'étape d'identification qui devrait permettre d'établir ces liens.

Nous pouvons également signaler que (même si l'outil le permet) nous n'avons pas fait varier le point de vue en ce qui concerne la prise de décision sur le type d'approvisionnement à mettre en place. Seul le point de vue de PFDC (rupture à la fonction production) a été utilisé dans le critère d'évaluation des scénarios. A l'image, de ce qui été entrepris par N. Lehoux *et al.*(2008) entre CPFR et mode d'approvisionnement classique (relation sur commande pure), nous devons désormais poser la question de l'intérêt du fournisseur. Ceci passera par un critère d'évaluation basé, par exemple, sur les stocks du fournisseur ou son niveau de rupture. Nous pourrions également imaginer analyser l'impact de ce nouveau protocole en terme de quantité de produits rebutés, puisque avec celui-ci le fournisseur produit, certes moins souvent, mais en beaucoup plus grande quantité.

Enfin, dans une première phase de nos recherches, nous avons proposé un modèle afin de représenter mais surtout de simuler les performances d'un protocole de collaboration particulier : le Vendor Managed Inventory (Marquès et al., 2008b, 2010a). Nous avons vu au chapitre 1 que cette « bonne pratique » appartient à la famille des méthodes dites de « flux tiré » ou JIT. En tant que telle, elle est souvent présentée comme vulnérable à des variations sur la demande. Nous avons cherché à vérifier ce préjugé. Or, le VMI peut être décrit au travers de différents paramètres (fréquence du Logistical Agreement (LA), niveaux min et max, comportement du fournisseur vis à vis de l'intervalle min/max,...). Il existe donc plusieurs façons de le mettre en place. Le but était donc d'analyser, pour un contexte donné, la sensibilité de la performance de la chaîne vis à vis de ces « paramètres de réglage » du VMI, c'est à dire évaluer l'intérêt d'adapter la bonne pratique aux situations de marché. Au final, dans certaines situations, il semble que des protocoles de types « Tiré » ou « VMI » puissent se justifier malgré des variations sur la tendance globale de la demande ou un certain niveau de variabilité de celle-ci (Marquès et al., 2008c, 2009b). Ces résultats se trouvent confirmés ici par la domination du protocole « *flux tiré* » même dans des contextes fortement perturbés.

Au regard des bons résultats que semblent permettre l'intégration du flux tiré au sein du portefeuille de protocoles de PFDC, nous pouvons envisager, dans le futur, l'évaluation de l'implémentation du VMI dans ce contexte, lui aussi soumis à une forte variabilité, dans la continuité de notre démarche d'étude des formes d'adaptation des bonnes pratiques à des contextes particuliers.

## RESUME

Ce chapitre présente un cas d'application de la démarche d'aide à la gestion de la collaboration que nous avons développée tout au long des chapitres précédents. Ce cas d'étude s'appuie sur un cas industriel réel rencontré par la branche Dermo-Cosmétique du groupe Pierre Fabre (PFDC).

L'étude présentée concerne la relation entretenue entre PFDC et ses fournisseurs de produits de conditionnement. Basée sur une classique relation de commande (à 12 semaines), PFDC tend peu à peu à généraliser l'utilisation d'un nouveau protocole : l'engagement sur approvisionnement. Ce mode de collaboration permet à PFDC de se couvrir de la variabilité qui existe sur les plans de besoins bruts émanant de la partie production. Cette variabilité est due en partie à des perturbations des prévisions provenant du marché. Elle provient également des processus de planification internes à PFDC (lissage, sous-traitance, ordonnancement). Maintenant que ce nouveau protocole commence à être maîtrisé entre PFDC et certains de ses fournisseurs, se pose la question de la pertinence de la généralisation de celui-ci ? En d'autres termes, peut-on identifier des situations à risque pour le protocole engagement sur approvisionnement ?

Les sources de risques pré-identifiées ont été nombreuses. Ici, nous nous sommes concentrés sur deux aléas et trois décisions. Les aléas concernent le niveau de rebut du fournisseur et le comportement de planification en aval de l'activité de conditionnement. Plusieurs scénarios ont été simulés : du plan de besoins bruts fortement perturbé à chaque période de mise à jour, au plan peu perturbé, en passant par des perturbations plus ciblées (apparitions/disparitions tardives de besoins). Les décisions concernent le choix du protocole, mais aussi le réglage de ce dernier ainsi que le comportement interne du fournisseur en terme de taille de lot de production.

Deux situations de décisions ont été différenciées : la détermination de la collaboration pour un contexte connu (aléas avérés) et pour un contexte probable (aléas potentiels). L'une comme l'autre montrent, en général, une domination du protocole engagement sur approvisionnement. En revanche, dès que les décideurs accordent plus d'intérêt (pessimisme, regret) aux situations de perturbations tardives, le protocole classique à la commande (ramené à des délais de 6 ou 8 semaines) peut se montrer plus performant. De plus, nous avons exploré la possibilité d'ajouter un troisième protocole à la liste des modes de coopération disponibles : un flux tiré pur. A l'intérieur du cadre ainsi défini et avec les hypothèses sur lesquelles reposent nos modèles, ce nouveau protocole présente de forts intérêts.

L'ensemble de cette démarche de modélisation des processus de pilotage de PFDC a été menée en étroite collaboration avec les responsables logistiques et industriels de l'entreprise. De ce fait, nous avons eu accès à une grande quantité de données réelles à partir desquelles nous avons pu proposer une validation du modèle sur la base des indicateurs présentés au chapitre 3 (évaluation globale, statique et dynamique de plans de besoins).

Au final, compte-tenu du degré d'abstraction avec lequel nous abordons le problème, nous ne prétendons pas apporter une solution « optimale » au problème de choix. De fait, ce problème est entaché d'incertitude puisque les décideurs n'ont pas, au moment de la décision, toute la connaissance suffisante. Par nos travaux nous contribuons donc à l'appropriation de la situation par le décideur. Ce n'est que par la suite qu'il prendra la décision sur la base de ces nouvelles informations (sensibilité de son choix aux hypothèses qui définissent le processus de décision) mais aussi d'autres connaissances qui lui sont propres. Du point de vue académique, ce cas d'application a donc permis d'illustrer la sensibilité du choix du décideur aux hypothèses de sa situation et notamment à l'attitude face au risque (la sienne et celles des autres).

# Conclusion générale : Bilan sur les propositions et perspectives

## 1 Quelle place pour la simulation dans l'aide à la décision ?

Dans cette thèse nous nous sommes intéressés à la gestion de la collaboration par des décideurs d'une chaîne logistique distribuée (phase de paramétrage de la chaîne). Par gestion de la collaboration, nous entendons le processus de décision(s) devant permettre d'assurer la cohérence globale des trois déterminants de la relation : les protocoles qui la cadrent, les comportements qui la particularisent et les aléas qui la rythment. Nous proposons d'outiller ce processus de décision(s) en anticipant non seulement les conséquences possibles des décisions et aléas identifiées, mais aussi les différents jugements possibles de ces décisions et donc les différents résultats (choix) qui en découlent.

Tout cela confère aux décisions relatives à la gestion de la collaboration dans les chaînes logistiques le statut de décisions non-programmables, en ce sens où le degré d'incertitude qui les caractérise ne permet pas l'emploi de méthodes classiques et maîtrisées pour réaliser les choix. L'aide à la décision doit donc être dédiée et permettre d'aider à la prise en compte de cette imperfection de la connaissance sur la situation.

Or, l'analyse de la bibliographie (Chapitre 1) a montré que la prise de décision est une démarche intellectuelle complexe mettant en œuvre les capacités du décideur à percevoir des informations, à les évaluer, puis à construire un jugement à partir de ces évaluations et enfin à agir par la réalisation d'un choix. Bien sûr, la théorie de la décision est incontournable pour caractériser la phase de jugement. La vision du décideur « maximisateur d'utilité » au travers d'une formulation probabiliste (EU, SEU) ou non (Laplace, Wald, Hurwitz, Regret) de la situation de décision est couramment utilisée. Toutefois, en s'attachant à décrire les agissements réels des décideurs, la théorie comportementale de la décision (psychologie) montre les limites des capacités descriptives des modèles mathématiques. En d'autres termes, la mise en lumière de certains paradoxes (St-Petersburg, Allais, Ellsberg) et autres biais de jugement soulignent bien que, dans la réalité, la décision se fonde sur plusieurs types de connaissance :

- une *connaissance accessible* sur la situation qui devra être perçue par le décideur ;
- une *connaissance directe*, c'est à dire formalisée et construite sur des éléments clairement exprimables et tirés directement de la situation (le décideur est capable de percevoir les éléments, de les évaluer et de les communiquer). Par exemple, la demande sur X mois ou la fiabilité d'un fournisseur. Elle met en œuvre les capacités de perception du décideur mais aussi une forme de sélection des informations qu'il souhaite intégrer à sa réflexion ;
- une *connaissance formalisable* qui ne sera formalisée qu'après une première phase d'analyse de la situation. Elle est construite sur des éléments de la situation plus difficilement « atteignables » pour la compréhension du décideur (le décideur est capable de les percevoir, de les évaluer et de les communiquer mais au prix d'un



certain effort). Il s'agit par exemple, d'imaginer les répercussions d'un changement majeur dans la tendance du marché ou l'impact sur sa performance d'une décision particulière d'un fournisseur. Elle met en œuvre les capacités d'évaluation et/ou d'analyse du décideur ;

- une *connaissance non formalisable* mais intervenant inconsciemment (le décideur peut la ressentir mais ne peut l'évaluer ni donc la communiquer). Il s'agit typiquement des notions d'état d'esprit, d'humeur ou de sentiment qui influencent sans nul doute la décision mais qui laissent peu d'espoir quant à la possibilité de les modéliser.

Au regard de cette liste, se dégage une connaissance plus ou moins vaste que nous pouvons qualifier de *non atteignable* par le décideur du fait de ses « capacités limitées » (ou d'un contexte particulier). Or, la description précédente fait clairement apparaître deux formes de capacité chez le décideur. La première est sa capacité à percevoir les connaissances accessibles. Celle-ci va directement jouer sur la qualité (degré de précision, certitude, ...) et le volume d'informations récoltées (degré de complétude). La seconde est sa capacité à traiter l'ensemble de ces informations afin de construire une connaissance formalisée. Elle va lui permettre d'aller plus loin dans l'analyse et ainsi faire grandir la part de connaissances formalisées dans l'ensemble des connaissances formalisables.

Aider à décider revient donc ici à aider à percevoir et à aider à évaluer. Sur la base de cette distinction, nous pouvons situer l'ensemble des travaux présentés dans ce mémoire dans l'activité d'évaluation. Le moyen utilisé est la simulation. Cette simulation a été définie au chapitre 2 comme une propriété fondamentale de l'activité de modélisation. Elle achève une démarche entamée par la représentation du système réel (par abstraction) qui peut être vue comme une forme de support à l'activité de perception des connaissances du système réel accessibles. Ce modèle représentatif ainsi construit peut être transcrit dans des langages exécutables pour constituer un outil de simulation utilisable par le décideur pour anticiper l'impact de certaines de ses décisions.

En simulant l'exploitation de la chaîne logistique (centrée sur les processus de planification) ou le processus de décision associé au paramétrage de la chaîne, nous avons donc constamment cherché à supporter les activités de projection du décideur indispensables à sa prise de décision.

Au final, nous proposons dans la Figure C.1 une représentation générale de la prise de décision qui reprend les grandes phases de la bibliographie (Prise d'information, Jugement et Acte). Celle-ci fait clairement apparaître le rôle de la simulation : participer à la prise d'information en supportant l'évaluation des informations collectées.

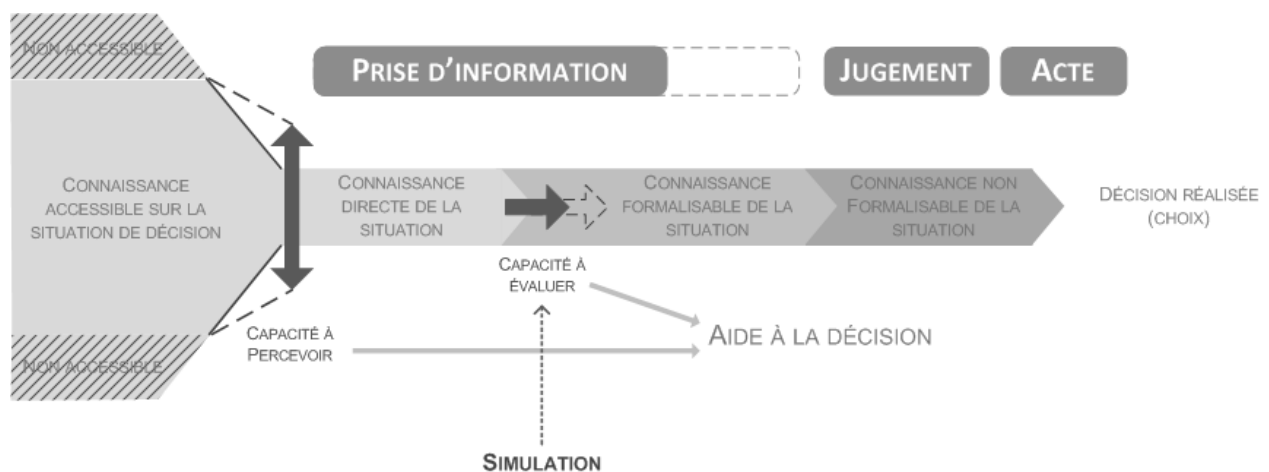


Figure C.1 : Prise de décision, aide à la décision et simulation

Compte tenu de la complexité des décisions associées à la gestion de la collaboration et de l'incertitude qui les caractérise, cette évaluation, c'est à dire cette formalisation, ne peut se faire que « pas à pas ». Cela explique le caractère itératif de notre approche. Nous ne pouvons prétendre à « générer LA solution ». En revanche, nous pouvons affirmer « évaluer des solutions ». Cette démarche de modélisation passe toujours par des phases d'échange avec le décideur afin d'améliorer la qualité des solutions ainsi obtenues.

Cette multiplicité des informations transmises successivement au décideur associée à l'effort de formalisation et de communication pendant les échanges peut le conduire à mieux structurer sa connaissance de la situation. Etant déchargé de certaines tâches purement calculatoires, il peut alors se concentrer à expliquer les erreurs et biais subsistant et donc être amené à intégrer consciemment de nouvelles informations, allant ainsi toujours un « pas » plus loin dans le degré d'analyse, d'abord dans la finesse et la justesse du modèle puis dans la qualité de l'analyse.

Cette analyse, nous l'avons particulièrement appliquée au cadre du management des risques dans la gestion des coopérations.

## **2 Le management des risques facteur clé de succès de la collaboration (?)**

En introduction de ce manuscrit nous décrivions l'opinion courante suivant laquelle la disparité des attitudes face au risque des différents acteurs dans des situations de collaboration pouvait apparaître comme une forme de frein à la dite collaboration, au même titre que les freins technologiques, organisationnels ou conceptuels. Comme point de départ de nos travaux, nous soumettons l'idée que s'il semble difficile, voire impossible, d'uniformiser les attitudes des différentes parties prenantes d'une situation de décisions, accepter cette disparité et s'y adapter est une première forme d'amélioration de la collaboration. Si elles ne prétendent pas constituer une preuve absolue de la généralité de cette proposition, nos contributions, décrites au travers de ce manuscrit, proposent au moins :

- (i) d'outiller le décideur afin qu'il puisse évaluer la sensibilité de sa décision aux hypothèses caractéristiques de sa situation (attitudes des autres décideurs impliqués, séquence des décisions et aléas, performance recherchée) ;
- (ii) d'exposer une situation où cette sensibilité est effective.

L'évaluation de la sensibilité de sa décision aux hypothèses caractéristiques de sa situation (i) a nécessité un double besoin de modélisation (représentation + simulation).

D'une part, une partie du travail a été destinée à représenter et simuler le processus de décision avec ses différentes hypothèses (Chapitre 4). Ceci a été réalisé au travers de l'utilisation d'arbres de décisions associés à des critères non probabilistes. La proposition majeure consiste à construire des arbres « multi points de vue » au travers d'une démarche globale de management des risques (identification, évaluation, traitement). La simulation apparaît alors comme un bon moyen pour évaluer la sensibilité d'un choix aux variations des hypothèses sur la situation de décision. Ces hypothèses peuvent être déclinées sous plusieurs formes :

- du point de vue porté par les décideurs en terme d'évaluation des scénarios (capacité de prendre des décisions sur la base d'indicateurs de performance différents) ;
- du point de vue de l'attitude des décideurs face au risque (capacité à juger chaque décision avec un critère de décision (Wald, Hurwitz, Laplace, Regret) différent) ;

- du point de vue porté par le décideur sur la séquence d'aléas/décisions. Il traduit alors des postures différentes suivant que soit recherchée l'adaptation à un contexte avéré ou la préparation à un contexte potentiel.

D'autre part, il nous a fallu étendre nos capacités à anticiper les conséquences de ces décisions et aléas sur la chaîne dans sa phase d'exploitation (capacité associée au besoin d'évaluation de notre processus de management des risques). Nous avons donc (au Chapitre 3) étendu les fonctionnalités d'un outil de simulation à événements discrets existant (LogiRisk). Celui-ci propose de représenter et de simuler le déroulement de processus de planification et de collaboration des acteurs d'une chaîne logistique. L'objectif était de pouvoir anticiper sur la phase d'exploitation les conséquences des décisions de paramétrage de la chaîne. L'outil permet également le traitement statistique (basé sur des analyses de variance) du grand nombre d'indicateurs et de facteurs pouvant les influencer.

L'exposition d'une situation réelle montrant l'importance de l'attitude face au risque des décideurs (ii) s'est traduite par le cas de la gestion des collaborations chez Pierre Fabre Dermo-Cosmétique (Chapitre 5). Pour les responsables industriels, choisir parmi les protocoles a fait apparaître deux situations : soit ils possèdent un haut niveau de connaissance du contexte de cette décision et notre démarche (et outils associés) leur permet d'évaluer des dominances<sup>1</sup> parmi les alternatives, afin d'adapter au mieux leur système. Soit, l'occurrence de certains aléas est encore incertaine et il s'agit d'évaluer des dominances parmi les alternatives en fonction de leur perception de ces risques mais aussi de celles du fournisseur qui doit prendre ses propres décisions. Dans ce cas, les décideurs cherchent à préparer le système à ce futur probable. C'est au travers de cette seconde situation que la sensibilité du choix du décideur face aux hypothèses de la situation de décision est apparue.

Au final, nous proposons que la gestion de la collaboration au sein des chaînes logistiques intègre la notion d'attitude face aux risques des différentes parties prenantes. Notre étude a permis d'identifier un grand nombre de leviers individuels et collectifs accessibles à chacune d'elles. Beaucoup de travaux se sont d'ailleurs penchés sur la modélisation de ces leviers afin d'en évaluer l'impact dans toutes sortes de contextes. Maintenant qu'une certaine connaissance de ces leviers est indiscutable, nous nous sommes donc positionnés dans une démarche amont, en particulier, celle conduisant à privilégier un levier plutôt qu'un autre, ou plutôt un ensemble de leviers plutôt qu'un autre.

Compte tenu de l'incertitude associée aux décisions dans le cadre de la gestion de la collaboration au sein des chaînes logistiques, il s'agit clairement d'une activité de management des risques (plus ou moins consciente), activité pour le moins « individuelle » tant par les objectifs recherchés au travers du traitement des risques que par les perceptions de ces risques. Nous nous sommes efforcés de montrer que cette personnalisation de l'attitude face au risque n'est pas forcément synonyme d'immobilité et donc de frein au développement de la collaboration. Si nous ne pouvons imposer une attitude commune aux partenaires, nous pouvons parler d'une forme de collaboration à partir du moment où nous intégrons quand même cette divergence au moment de prendre des décisions.

---

<sup>1</sup> Ici, nous ne prétendons pas fournir une dominance absolue, c'est à dire la meilleure solution. Nous en cherchons plutôt plusieurs (optimum locaux) et informons le décideur sur l'influence des hypothèses sur ces dominances

### 3 Perspectives

Tout au long de notre exposé nous avons essayé de conserver un regard critique sur les propositions qui ont été faites en soulignant un certain nombre de limites et développements futurs associés. L'ensemble de ces perspectives doivent nous permettre de progresser dans nos recherches à venir. Parmi ces axes de développement, nous pouvons distinguer :

- les efforts à fournir pour développer l'aide à la décision concernant la « capacité à percevoir » du décideur.
- les possibilités de poursuivre l'extension de l'outil de simulation de l'exploitation de la chaîne.
- la nécessité d'étendre notre démarche d'aide à la décision pour des décisions non séquentielles.

En ce qui concerne le développement de l'aide à la décision, nos propositions se sont concentrées quasi-uniquement sur le développement d'outils de simulation et donc d'évaluation. Un travail reste à réaliser pour aider le décideur à percevoir sa situation de décision. Cela implique de développer des méthodes et/ou des outils permettant une meilleure interaction entre l'espace des connaissances accessibles et le décideur. Une meilleure démarche d'identification des risques est un exemple même de ces développements nécessaires. Par meilleure, nous entendons une démarche dédiée à la gestion des coopérations. Celle-ci devra, entre autres, intégrer une classification des risques et une démarche de recherche des sources de risques adaptée à notre contexte.

Si la construction de cette démarche d'identification ne pourra se passer d'une analyse de la bibliographie, elle pourra également s'appuyer sur un élément oublié jusqu'à aujourd'hui dans nos travaux : le suivi et surtout, l'apprentissage associé au processus de management des risques. Pour être complète de ce point de vue, notre approche devra proposer un cadre facilitant l'apprentissage pour permettre une amélioration continue de l'identification (la source de risque, le ou les traitements, le ou les impacts).

L'amélioration de la capacité à percevoir du décideur va entraîner une augmentation des informations qu'il faudra traiter par la suite. Il nous faudra donc en amont être capable de développer notre capacité à transcrire les préférences du décideur. Cela nous conduira sur le sujet de la décision multicritères.

Au niveau du développement de l'outil de simulation (LogiRisk), nous pouvons également envisager de continuer à enrichir l'ensemble des protocoles et comportements simulables. Le CPFR constitue un bon exemple de ces protocoles aujourd'hui de plus en plus en utilisés et qu'il convient d'étudier dans des contextes précis. Nous devons également améliorer les protocoles existants, notamment les processus de générations de prévisions sur historiques et intégrer une forme de négociation dans notre modélisation du VMI (qui ne représente pas encore assez bien cette notion de flexibilité accrue pour le fournisseur).

Ceci nous amène à la perspective majeure de LogiRisk. Aujourd'hui, les agents, qui sont au cœur du modèle, ne possèdent que des capacités réactives et répondent mécaniquement à des stimuli. La dynamique est gérée en multipliant les expériences et en spécifiant un comportement différent à chacune d'elles. Pour poursuivre nos investigations sur l'étude des modes d'adaptation des acteurs à leur environnement incertain, il nous faudra être capable de mener des simulations avec des agents plus « intelligents », c'est à dire capables de choisir d'eux même parmi un portefeuille de comportements disponibles, et faire évoluer ce choix au cours du temps. Dès lors, nous n'évaluerons plus les comportements mais plutôt les stratégies qui conduisent à leur sélection. Par

exemple, il s'agira de doter l'agent planification de la capacité à adapter une taille de lot de production en réponse à un changement important sur la tendance du marché ou sur la demande prévisionnelle du client.

Au niveau de notre démarche d'aide à la décision, pour étendre la portée de l'outil (TRisk) que nous avons développé, il faut désormais que nous soyons en mesure de tenir compte des décisions simultanées et des décisions répétitives. Dans le modèle actuel, nous faisons l'hypothèse forte que les décisions considérées se font dans un certain ordre et que, de cet ordre, est déduit l'état de connaissance pour chacune d'elle. Or, rien ne force à ce que dans la réalité, un fournisseur prenne une décision sur sa taille de lot en cherchant à s'adapter à une autre décision précédente. Les décisions peuvent être simultanées et indépendantes. Surtout, elles peuvent se situer dans le cadre d'une confrontation de buts antagonistes qui s'inscrivent dans des « jeux » plus ou moins coopératifs. Pour cela, il faudra nous appuyer sur la théorie des jeux qui a œuvré à la formalisation d'un certain nombre de situations et à la recherche d'équilibres et de stratégies qui en découlent.

Enfin, du point de vue de la relation entamée avec la branche Dermo-Cosmétique du groupe Pierre Fabre (PFDC), nous devons veiller à valoriser les efforts de modélisation et de validation consentis jusqu'à aujourd'hui. Nous pouvons affirmer que nous disposons d'un outil capable de représenter, dans une assez bonne mesure, une partie des comportements de planification chez PFDC. Désormais, il reste notamment :

- à mieux identifier et caractériser les sources de perturbations des plans de besoins bruts. Avec les indicateurs et les outils informatiques développés, nous disposons d'un bon moyen pour analyser les comportements de pilotage de l'entreprise. Ils peuvent aider à identifier des axes d'améliorations internes à celle-ci ;
- à continuer le travail de caractérisation des fournisseurs de produits de conditionnement. Les plans d'expériences réalisés jusqu'à aujourd'hui portent surtout sur l'analyse de l'influence du degré de perturbation du signal de besoin émis par PFDC. La prochaine étape consistera à finir de formaliser une cartographie des fournisseurs et d'introduire le type de fournisseur en tant que facteur dans nos plans d'expériences.

Pour finir, nos travaux nous ont amenés à couvrir de nombreux sujets connexes au thème du management des chaînes logistiques. Cherchant à « bien » aider à décider, ils nous ont même conduits à nous informer (rapidement) sur la question de la prise de décision dans les sciences humaines. Tout cela a abouti à des outils d'aide à la décision basés sur la simulation et qui placent l'Homme et son comportement face aux risques au centre de la décision. Au regard des premiers résultats obtenus qui semblent prometteurs en terme de pertinence de la démarche, la mise en œuvre des perspectives à court, moyen ou plus long terme sont, certes, nombreuses mais elles convergent toutes vers un objectif commun : outiller un processus de décision(s) complexe dans une optique de management des risques.

# Bibliographie

Achabal, D. D., McIntyre, S. H., Smith, S. A. and Kalyanam, K.: A decision support system for vendor managed inventory, *Journal of Retailing*, 76(4), 430-454, 2000.

AFNOR: Gestion du risque - Fascicule de documentation FD X50-117, 2003.

Allais, M.: Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque: Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Americaine, *Econometrica*, 21(4), 503-546, 1953.

Amrani-Zouggar, A.: Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique: modélisation et simulation, Université Bordeaux I, Bordeaux, 2009.

Anscombe, F. J. and Aumann, R. J.: A Definition of Subjective Probability, *The Annals of Mathematical Statistics*, 34(1), 199-205, 1963.

Askin, R. G. and Standridge, C. R.: *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*, Wiley, 1993.

Asbjornslett, B. E.: Assessing the vulnerability of supply chains, in *Supply Chain Risk: A Handbook of Assessment, Management, and Performance*, 15-34, Springer-Verlag New York Inc, 2008.

Australian/New Zealand Standard: AS/NZS 4360:2004: Risk Management, Standard, 2004.

Azzone, G. and Bertele, U.: Measuring the economic effectiveness of flexible automation: A new approach, *International Journal of Production Research*, 27(5), 735-746, 1989.

Azzone, G. and Bertelè, U.: Techniques for measuring the economic effectiveness of automation and manufacturing systems, *Manufacturing and Automation Systems: Techniques and Technology*, Academic Press/Harcourt Brace Jovanovich, New York, 1991.

Bana e Costa, C. A. and Chagas, M. P.: A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments, *European Journal of Operational Research*, 153(2), 323-331, 2004.

Barad, M. and Sipper, D.: Flexibility in manufacturing systems: definitions and Petri net modelling, *International Journal of Production Research*, 26, 237-48, 1988.

Banks, J., Carson, J. S. and Nelson, B. L.: *Discrete-Event System Simulation*, Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.

Barbuceanu, M., Teigen, R. and Fox, M. S.: Agent based design and simulation of supply chain systems, in *Proceedings of the 6th Workshop on Enabling Technologies on Infrastructure for Collaborative Enterprises*, 36-42, 1997.

Barbuceanu, M. and Fox, M. S.: COOL: A Language for Describing Coordination in Multi-Agent Systems, 17-24, San Francisco, 1995.

Bartezzaghi, E. and Turco, F.: The Impact of Just, *International Journal of Operations & Production Management*, 9(8), 40 - 62, 1989.

- Baumgaertel, H., Brueckner, S., Parunak, V., Vanderbok, R. and Wilke, J.: Agent models of supply network dynamics, *The Practice of Supply Chain Management*, Kluwer, 2003.
- Bel, G.: Aide à la conception et à la conduite de systèmes à événements discrets: application aux systèmes de production, *Habilitation à Diriger des Recherches*, Toulouse, 1998.
- Bellifemine, F., Poggi, A. and Rimassa, G.: JADE—A FIPA-compliant agent framework, in *Proceedings of PAAM*, vol. 99, pp. 97-108, 1999.
- Benjaafar, S. and Ramakrishnan, R.: Modelling, measurement and evaluation of sequencing flexibility in manufacturing systems, *International journal of production research*, 34(5), 1195-1220, 1996.
- Benton, W. and Shin, H.: Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration, *European Journal of Operation Research*, 110(3), 411-440, 1998.
- Benyoucef, L., Jain, V. and Charpentier, P.: Approches centralisées de simulation des chaînes logistiques. Principes et applications, in *La simulation pour la gestion des chaînes logistiques*, p. 385, Hermes Science Publications, Paris, 2008.
- Berthoz, A.: *La décision*, Odile Jacob, 2003.
- Boissier, O., Beaune, P., Proton, H., Hannoun, M., Carron, T., Vercouter, L. and Sayettat, C.: *Multi-Agent System Toolkit*, Rapport interne, Dpt SIC, ENSM, St-Etienne, 1998.
- Bouchon-Meunier: *La logique floue et ses applications*, Addison Wesley, 1995.
- Boutinet, J.: *Anthropologie du projet*, Presses Universitaires de France, Paris, 1990.
- Bouyssou, D., Dubois, D., Pirlot, M. and Prade, H.: *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision. : Vol 2, risque et incertain*, Hermes Science Publications, 2006.
- Bredell, R.: *Supply chain risk management: a logistics perspective*, Rand Afrikaans University, Johannesburg, 2004.
- Brindley, C.: *Supply Chain Risk*, Ashgate Publishing, Ltd, 2004.
- Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S. P. and Steckel, K. E.: Classification of flexible manufacturing systems, *The FMS magazine*, 2(2), 114-117, 1984.
- Buzacott, J. A.: The fundamental principles of flexibility in manufacturing systems, in *Proceedings of the 1st International Conference on Flexible Manufacturing Systems*, 13-22, 1982.
- Cadet, B. and Chasseigne, G.: *Psychologie du Jugement et de la décision des Modèles aux Applications*, Première édition, De Boeck Université, 2009.
- Cetinkaya, S. and Lee, C. Y.: Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems, *Management Science*, 46(2), 217-232, 2000.
- Chapurlat, V.: *Vérification et validation de modèles de systèmes complexes: application à la Modélisation d'Entreprise*, Université Montpellier II, 2007.
- Chen, I., Calantone, R. and Chung, C.: The marketing-manufacturing interface and manufacturing flexibility, *Omega*, 20(4), 431-443, 1992.
- Chen, D.: *Enterprise interoperability framework*, *Proceedings of Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability*, EMOI-Interop, 2006.

- Christopher, M.: Logistics and supply chain Management, Pitman Publishing, London, 1992.
- Chryssolouris, G. and Lee, M.: An Assessment of Flexibility in Manufacturing Systems, 1992.
- CIRANO: Evaluation du risque en gestion de projet, Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations, Montréal, 2003.
- Clark, T. H. and Hammond, J. H.: Reengineering Channel Reordering Processes to Improve Total Supply-Chain Performance, *Production and Operations Management*, 6(3), 248-265, 1997.
- Clivillé, V., Berrah, L. and Mauris, G.: Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the MACBETH multi-criteria method, *International Journal of Production Economics*, 105(1), 171-189, 2007.
- Cloutier, L., Frayret, J., D'Amours, S., Espinasse, B. and Montreuil, B.: A commitment-oriented framework for networked manufacturing co-ordination, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 14(6), 522, 2001.
- Courtot, H.: La gestion des risques dans les projets, 1ère édition, Economica, 1998.
- Costa Affonso, R.: proposition d'un cadre de modélisation pour la coordination d'entreprises dans la chaîne logistique, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, 2008.
- Crozier, M.: Ce que nous a apporté Herbert Simon, *Revue française de gestion*, 94, 85-86, 1993.
- Culp, C. L.: The risk management process: business strategy and tactics, Wiley, 2001.
- De Toni, A. and Tonchia, S.: Manufacturing flexibility: a literature review, *International Journal of Production Research*, 36(6), 1587-1617, 1998.
- De Toni, A. F. and Zamolo, E.: From a traditional replenishment system to vendor-managed inventory: A case study from the household electrical appliances sector, *International Journal of Production Economics*, 96(1), 63-79, 2005.
- Deakins, E., Dorling, K. and Scott, J.: Determinants of successful vendor managed inventory practice in oligopoly industries, *International Journal of Integrated Supply Management*, 4(3/4), 355-377, 2008.
- Deloach, J. W.: Enterprise-wide risk management: strategies for linking risk and opportunity, Financial Times Prentice Hall, London; Tokyo, 2000.
- Derrouiche, R.: Analyse et caractérisation des relations dyadiques entre partenaires d'une chaîne logistique, Université Lyon II, Lyon, France, 2007.
- DGA: Le management des risques dans les programmes d'armement - Les concepts de base pour appréhender la démarche de management des risques et son apport à la conduite d'un programme d'armement, Direction Générale de l'Armement, 1995.
- Disney, S. M. and Towill, D. R.: The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains, *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199-215, 2003.
- Dixon, J. R., Nanni, A. J. and Vollmann, T. E.: The new performance challenge: measuring operations for world-class competition, Irwin Professional Publishing, 1990.
- Drogoul, A., Vanbergue, D. and Meurisse, T.: Multi-agent Based Simulation: Where Are the Agents?, in *Multi-Agent-Based Simulation II*, pp. 1-15. [online] Available from: [http://dx.doi.org/10.1007/3-540-36483-8\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-36483-8_1) (Accessed 12 July 2010), 2003.



Drucker, P. F.: The economy's dark continent, *Fortune*, 103, 1962.

Dubois, D. and Prade, H.: Représentations formelles de l'incertain et de l'imprécis, in *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision. : Vol 1, outils de modélisation*, vol. 1, edited by D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot, and H. Prade, pp. 11-165, Hermes Science Publications, 2006.

Dudek, G. and Stadtler, H.: Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners, *European Journal of Operational Research*, 163(3), 668-687, 2005.

Durieux-Paris, S., Génin, P. and Thierry, C.: *Prise de décision dans la chaîne logistique en monde incertain, Proposition d'un projet exploratoire*, 2007.

Dweiri, F. and Kablan, M.: Using fuzzy decision making for the evaluation of the project management internal efficiency, *Decision Support Systems*, 42(2), 712-726, 2006.

Edwards, W.: The theory of decision making, *Psychological Bulletin*, 51(4), 380-417, 1954.

Edwards, W.: Behavioral decision making, *Annual Review of Psychology*, 12, 473-488, 1961.

Ellsberg, D.: Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms, *The Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643-669, 1961.

Ettl, M., Feigin, G. E., Lin, G. Y. and Yao, D. D.: A Supply Network Model with Base-Stock Control and Service Requirements, *Operations Research*, 48(2), 216-232, 2000.

Feigin, G., An, C., Connors, D. and Crawford, I.: Shape up, ship out, *OR/MS Today*, 23(2), 24-30, 1996.

Ferber, J. and Gutknecht, O.: A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems, in *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi Agent Systems*, vol. 128, 1998.

Ferber, J.: *Les Systèmes multi-agents: Vers une intelligence collective*, Dunod, 1997.

Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M.: *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*, Springer, 2005.

Forget, P., D'Amours, S. and Frayret, J.: Multi-behavior agent model for planning in supply chains: An application to the lumber industry, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(5), 664-679, 2008.

Forrester, J. W.: Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers, *Harvard Business Review*, 36(4), 37-66, 1958.

Fox, M. S., Barbuceanu, M. and Teigen, R.: Agent-Oriented Supply-Chain Management, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 12(2), 165-188, 2000.

Frantz, F. K.: A taxonomy of model abstraction techniques, in *Proceedings of the 27th conference on Winter simulation*, pp. 1413-1420, IEEE Computer Society, Arlington, Virginia, United States. [online] Available from: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=224401.224834> (Accessed 21 September 2009), 1995.

Frayret, J. M., D'Amours, S. and D'Amours, F.: *Collaboration et outils collaboratifs pour la PME manufacturière*, CEFRIO, 2003.

Frayret, J., D'Amours, S., Rousseau, A., Harvey, S. and Gaudreault, J.: Agent-based supply-chain planning in the forest products industry, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 19(4), 358-391, 2008.

Galasso, F.: *Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible*, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, 2007.

- Galland, S., Grimaud, F., Beaune, P. and Campagne, J. P.: MAMA-S: An introduction to a methodological approach for the simulation of distributed industrial systems, *International Journal of Production Economics*, 85(1), 11-31, 2003.
- Galland, S.: Approche multi-agents pour la conception et la construction d'un environnement de simulation en vue de l'évaluation des performances des ateliers multi-sites, *École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne*, Saint-Etienne, 2001.
- Galland, S., Grimaud, F., Beaune, P. and Campagne, J.: Simulation of Distributed Industrial Systems, in *Supply Chain Optimisation*, pp. 277-287. [online] Available from: [http://dx.doi.org/10.1007/0-387-23581-7\\_20](http://dx.doi.org/10.1007/0-387-23581-7_20) (Accessed 14 July 2010), 2005.
- Ganeshan, R.: A Taxonomic Review of Supply Chain Management, in *Quantitative Models for Supply Chain Management*, edited by S. Tayur, R. Ganeshan, and M. Magazine, pp. 839-879, Kluwer Academic Press, 1999.
- Gaonkar, R. and Viswanadhar, N.: Analytical framework for the management of risk in supply chains, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4(2), 265-273, 2007.
- Gerwin, D.: Manufacturing Flexibility: A Strategic Perspective, *Management Science*, 39(4), 395-410, 1993.
- Giard, V.: Gestion de la production et des flux, 3ème édition, Economica, Paris, 2003.
- Gigerenzer, G.: How to Make Cognitive Illusions Disappear: Beyond "Heuristics and Biases", *European Review of Social Psychology*, 2, 83-115, 1991.
- Gillet, F., Midiladji, E. and Herry, S.: Le management des risques dans les supply chains, *Mémoire de Recherche, ESC Bretagne Brest*, Brest, 2007.
- Gjerdrum, J., Shah, N. and Papageorgiou, L. G.: A combined optimization and agent-based approach to supply chain modelling and performance assessment, *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 12(1), 81, 2001.
- Golden, W. and Powell, P.: Towards a definition of flexibility: in search of the Holy Grail?, *Omega*, 28(4), 373-384, 2000.
- Gordon, G.: System simulation, 2d edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. [online] Available from: <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=018144519> (Accessed 8 July 2010), 1978.
- Gourc, D.: Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services, *Habilitation à Diriger les Recherches*, 2006.
- Gröning, A. and Holma, H.: Vendor managed inventory: preparation for an implementation of a pilot project and guidance for an upcoming evaluation at Volvo Trucks in Umea, Master's Thesis, Lulea University of Technology. Department of Business Administration and Social Sciences. Division of Industrial Logistics. [online] Available from: <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2007/009/> (Accessed 13 January 2009), 2007.
- Handfield, R. B. and McCormack, K. P.: Supply chain risk management: minimizing disruptions in global sourcing, CRC press, 2007.
- Hayek, F. A.: Law, legislation and liberty: Rules and Order, University of Chicago Press, Chicago, 1973.
- Hetreux, G.: Structures de décision multi-niveaux pour la planification de la production : robustesse et cohérence des décisions, INSA de Toulouse, 17 December. [online] Available from: [http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=9e8t1o93m12dnaka92k7jgbcj3&view\\_this\\_doc=tel-00139724&version=1](http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=9e8t1o93m12dnaka92k7jgbcj3&view_this_doc=tel-00139724&version=1) (Accessed 23 September 2009), 1996.

- Ho, J. C. and Chang, Y. L.: An integrated MRP and JIT framework, *Computers & Industrial Engineering*, 41(2), 173-185, 2001.
- Holweg, M., Disney, S., Holmström, J. and Småros, J.: Supply Chain Collaboration:: Making Sense of the Strategy Continuum, *European Management Journal*, 23(2), 170-181, 2005.
- Hwang, H.: Web-based multi-attribute analysis model for engineering project evaluation, *Computers & Industrial Engineering*, 46(4), 669-678, 2004.
- International Organization for Standardization: Risk management - Principles and guidelines on implementation, Draft International Standard, 2008.
- International Organization for Standardization: Risk Management - Vocabulary, Draft International Standard, 2009.
- Jarrosson, B.: Décider ou ne pas décider?: réflexions sur les processus de la décision, Editions Maxima, 1994.
- Jennings, N. and Wooldridge, M.: Intelligent agents: Theory and practice, *The Knowledge Engineering Review*, 10(2), 115-152, 1995.
- Jennings, N. R., Sycara, K. and Wooldridge, M.: A Roadmap of Agent Research and Development, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(1), 7-38, 1998.
- Jüttner, U.: Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective, *The International Journal of Logistics Management*, 16(1), 120-141, 2005.
- Jüttner, U., Peck, H. and Christopher, M.: Supply chain risk management: outlining an agenda for future research, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 6(4), 197, 2003.
- Kaipia, R., Holmström, J. and Tanskanen, K.: VMI: What are you losing if you let your customer place orders?, *Production Planning and Control*, 13(1), 17-25, 2002.
- Keen, P. G. and Morton, M. S.: Decision support systems: an organizational perspective, Addison Wesley Publishing Company, 1978.
- Kervyn, G. Y. and Rubise, P.: L'archipel du danger: introduction aux cindyniques, Economica, Paris, 1991.
- Knight, F. H.: Risk, uncertainty and profit, Houghton Mifflin Company, 1921.
- Klir, G. J.: Facets of systems science, Springer, 1991.
- Korzybski, A.: Science and sanity: An introduction to non-Aristotelian systems and general semantics, The International non-Aristotelian Library Publishing Company, 1933.
- Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A. and Montreuil, B.: A methodological approach for agent based simulation of mass customizing supply chains, *Journal of decision systems*, 14(4), 397-425, 2005.
- Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A. and Montreuil, B.: Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(2), 113-136, 2007.
- Labarthe, O., Ferrarini, A., Espinasse, B. and Montreuil, B.: Multi-agent modelling for simulation of customer-centric Supply Chain, *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 2(3-4), 150-163, 2006.
- Lamothe, J., Mahmoudi, J. and Thierry, C.: Cooperation to reduce risk in a telecom supply chain, special issue Managing Supply Chain Risk, *Supply Chain Forum: An International Journal*, 8(2), 2007.

- Lang, J.: Contribution à l'étude de modèles, de langages et d'algorithmes pour le raisonnement et la prise de décision en intelligence artificielle, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paul Sabatier, Toulouse, 2003.
- Laplace, P. S.: Essai philosophique sur les probabilités, Bourgeois, Paris, 1814.
- Lauras, M., Parrod, N. and Telle, O.: Proposition de référentiel pour la notion d'entente industrielle: trois approches dans le domaine de la chaîne logistique, *Revue Française de gestion industrielle*, 22(4), 5-29, 2003.
- Lauras, M., Marques, G. and Gourc, D.: Towards a multi-dimensional project Performance Measurement System, *Decision Support Systems*, 48(2), 342-353, 2009.
- Law, A. M.: Simulation modeling and analysis, 4th edition, McGraw-Hill, New York (N.Y.). [online] Available from: <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=118622293> (Accessed 8 July 2010), 2007.
- Le Moigne, J. L.: Théorie du système général, théorie de la modélisation, PUF, Paris, 1977.
- Le Moigne, J. L.: Qu'est-ce qu'un modèle, *Confrontations psychiatriques*, (numéro spécial consacré au modèles), 1987.
- Le Moigne, J. L.: La modélisation des systèmes complexes, Dunod Paris, 1990.
- Lee, J. and Kim, C. : Multi-agent systems applications in manufacturing systems and supply chain management: a review paper, *International Journal of Production Research*, 46(1), 233-265, 2008.
- Lehoux N., D'Amours S., Frein Y. ; Langevin A. and Penz B. : Collaboration for a Two-Echelon Supply Chain in the Pulp and Paper Industry : The use of Incentives to Increase Profit. Rapport CIRRELT-2008-29, Québec, 2008.
- Little, J. D. C.: Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus, *Management Science*, 16(8), 466-485, 1970.
- Lopes, L. L.: Psychology and Economics: Perspectives on Risk, Cooperation, and the Marketplace, *Annu. Rev. Psychol.*, 45(1), 197-227, 1994.
- Macbeth, D. K.: The Flexible Manufacturing Mission — Some Implications for Management, *International Journal of Operations & Production Management*, 5(1), 26 - 31, 1985.
- Mahmoudi, J.: Simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaînes logistiques : application au secteur de l'électronique et des télécommunications, PhD, l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, 2006.
- March, J. G.: Decisions and organizations, Basil Blackwell Ltd, New York, 1989.
- Marquès, G., Lauras, M. and Gourc, D.: A multi-dimensional model for project performance analysis, Paris, 7e Conférence Internationale de MOdélisation et SIMulation (MOSIM'08) 2008 (a).
- Marquès, G., Lamothe, J., Thierry, C. and Gourc, D.: Vendor managed inventory, from concept to processes, for a supply chain collaborative simulation approach, pp. 536-547, International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS'08), Madison, WI, USA, 2008 (b).
- Marquès, G., Lamothe, J., Thierry, C. and Gourc, D.: Concept, Processes, and a Supply Chain Simulation Approach for Vendor Managed Inventory, pp. 2605-2620, Proceedings of the 3rd World Conference on Production and Operations Management (POM TOKYO 2008), Gakushuin University, Tokyo, Japan, 2008 (c).

Marquès, G., Lelièvre, A. and Vallet, B.: Proposition d'un cadre de référence pour les critères d'évaluations d'une décision de planification sous incertitudes, 8ème Congrès International de Génie Industriel, Tarbes, France, 2009 (a).

Marquès, G., Lamothe, J., Thierry, C. and Gourc, D.: A supply chain performance analysis of a pull inspired supply strategy faced to demand uncertainties, *Journal of Intelligent Manufacturing*, doi:10.1007/s10845-009-0337-z [online] Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10845-009-0337-z> (Accessed 5 November 2009), 2009 (b).

Marquès, G., Thierry, C., Lamothe, J. and Gourc, D.: A review of Vendor Managed Inventory (VMI): from concept to processes, *Production Planning & Control*, 21(6), 547-561, 2010 (a).

Marquès, G., Thierry, C., Lamothe, J. and Gourc, D.: Aggregated behaviors for supply chain planning processes simulation and characterization of plan dynamics, *International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS 2010)*, Hammamet, Tunisia, 2010 (b).

Marquès, G., Gourc, D., Lamothe, J. and Thierry, C.: Collaboration and risk management support in uncertain supply chain context, 8th International Conference of Modeling and Simulation (MOSIM'10) Casablanca, Morocco, 2010 (c).

Marquès, G., Lauras, M. and Gourc, D.: Multi-Criteria Performance Analysis for Project Management. *International Journal of Project Management*, Accepted – To appear, 2011

Matsumoto, M. and Nishimura, T.: Mersenne twister: a 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator, *ACM Trans. Model. Comput. Simul.*, 8(1), 3-30, 1998.

Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D. and Zacharia, Z. G.: Defining supply chain management, *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-26, 2001.

Merchant, M. E.: Current status of and potential for automation in the metal working manufacturing industry, *Annals of the CIRP*, 24(2), 573-574, 1983.

Min, H. and Zhou, G.: Supply chain modeling: past, present and future, *Computers & Industrial Engineering*, 43(1-2), 231-249, 2002.

Monostori, L., Váncza, J. and Kumara, S.: Agent-Based Systems for Manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 55(2), 697-720, 2006.

Monteiro, T., Anciaux, D., Espinasse, B., Ferrarini, A., Labarthe, O., Montreuil, B. and Roy, D.: L'intérêt des agents pour la simulation de la chaîne logistique, in *La simulation pour la gestion des chaînes logistiques*, p. 385, Hermes Science Publications, Paris, 2008.

Monteiro, T., Roy, D. and Anciaux, D.: Multi-site coordination using a multi-agent system, *Computers in Industry*, 58(4), 367-377, 2007.

Montreuil, B.: Production planning optimization modeling in demand and supply chains of high-value consumer products, in *Logistics Systems: Design and Optimization*, p. 388, A. Langevin et D. Riopel, 2005.

Montreuil, B., Cloutier, C., Labarthe, O. and Loubier, J.: Holistic agent-oriented modeling of demand and supply chains, *Lyon*, 2006a.

Montreuil, B., Cloutier, C., Labarthe, O. and Loubier, J.: Holistic Agent-Oriented Supply Chain Modeling, *CIRRELT*, Université Laval, Québec, 2006b.

Montreuil, B., Frayret, J. and D'Amours, S.: A strategic framework for networked manufacturing, *Computers in Industry*, 42(2-3), 299-317, 2000.

- Montreuil, B., Labarthe, O., Cloutier, C. and Zheng, X.: Modélisation des clients pour la simulation de dates de livraison, Rabat, Maroc, 2006.
- Moureau, N. and Rivaud-Danset, D.: L'incertitude dans les théories économiques, La Découverte, Paris, 2004.
- Moyaux, T.: Design, simulation and analysis of collaborative strategies in multi-agent systems: The case of supply chain management, Université de Laval, Québec, 2004.
- Moyaux, T., Chaib-draa, B. and D'Amours, S.: Supply Chain Management and Multiagent Systems: An Overview, in Multiagent based Supply Chain Management, pp. 1-27. [online] Available from: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-33876-5\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-33876-5_1) (Accessed 13 July 2010), 2006.
- Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M. and Vicens, E.: Mathematical programming models for supply chain production and transport planning, *European Journal of Operational Research*, 204(3), 377-390, 2010.
- ODETTE: Vendor Managed Inventory (VMI), 2004.
- OMG: MDA Guide Version 1.0.1, OMG, 2003.
- Otto, A.: Supply chain event management: three perspectives, *The International Journal of Logistics Management*, 14(2), 1-13, 2003.
- Parunak, H. V., Savit, R., Riolo, R. L. and Clark, S. J.: Dasch: Dynamic analysis of supply chains. Final report, 1999.
- Parunak, V. and Vanderbok, R.: The DASch experience: How to model a supply chain,, 1998.
- Parker, R. P. and Wirth, A.: Manufacturing flexibility: Measures and relationships, *European Journal of Operational Research*, 118(3), 429-449, 1999.
- Peck, H.: Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management, *International Journal of Logistics*, 9(2), 127 - 142, 2006.
- Pidd, M.: Five simple principles of modelling, in *Simulation Conference*, 1996. Proceedings. Winter, pp. 721-728, 1996.
- Pillet, M.: Les Plans d'expériences pour la méthode TAGUCHI, Editions d'Organisation, 1997.
- Pingaud, H.: Rationalité du développement de l'interopérabilité dans les organisations, in *Management des Technologies Organisationnelles*, edited by P. Riccio and D. Bonnet, Presses des Mines, 2009.
- Porter Michael, E.: *Competitive Advantage: Creating and sustaining superior performance*, The Free Press, New York, 1985.
- Pradier, P.: La notion de risque en économie, La Découverte, Paris, 2005.
- Rajsiri, V., Lorré, J., Bénaben, F. and Pingaud, H.: Knowledge-based system for collaborative process specification, *Computers in Industry*, 61(2), 161-175, doi:10.1016/j.compind.2009.10.012, 2010.
- Reignier, P., Harrouet, F., Morvan, S., Tisseau, J. and Duval, T.: ARéVi : A virtual reality multiagent platform, vol. 1434, pp. 229-240, Paris, 1998.
- Roboam, M.: La méthode GRAI: principes, outils, démarche et pratique, Teknéa, Toulouse, 1993.
- Rouibi S., Burlat P. , Frein Y. and Ouzrout Y.: La modélisation ARENA comme outil d'étude de l'influence du VMI sur les niveaux de stocks des chaînes logistiques, 8th International Conference of Modeling and Simulation (MOSIM'10) Casablanca, Morocco, 2010.

Roy, B.: Multicriteria methodology for decision aiding, Springer, 1996.

Roy, D., Anciaux, D., Monteiro, T. and Ouzizi, L.: Multi-agents architecture for supply chain management, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(8) [online] Available from: <http://arxiv.org/abs/0806.3032> (Accessed 14 July 2010), 2004.

Rusdiansyah, A. and Tsao, D.: Coordinating Deliveries and Inventories for a Supply Chain under Vendor Managed Inventory System, *JSME International Journal*, 48(2), 85-90, 2005.

Sadeh, N. M., Hildum, D., Kjenstad, D. and Tseng, A.: Mascot: an agent-based architecture for coordinated mixed-initiative supply chain planning and scheduling, in *Workshop on Agent-Based Decision Support in Managing the Internet-Enabled Supply-Chain*, at *Agents*, vol. 99, 133-138, 1999.

Sadeh, N. M., Hildum, D. W. and Kjenstad, D.: Agent-based e-supply chain decision support, *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 13(3), 225-241, 2003.

Sadeh, N. M., Hildum, D. W., Kjenstad, D. and Tseng, A.: MASCOT: an agent-based architecture for dynamic supply chain creation and coordination in the internet economy, *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 12(3), 212, 2001.

Sadeh, N. M., Hildum, D. W., Laliberty, T. J., McA'Nulty, J., Kjenstad, D. and Tseng, A.: A Blackboard Architecture for Integrating Process Planning and Production Scheduling, *Concurrent Engineering*, 6(2), 88-100, 1998.

Sargent, R. G.: Verification, validation, and accreditation of simulation models, in *PROCEEDINGS OF THE 2000 WINTER SIMULATION CONFERENCE, VOLS 1 AND 2*, edited by J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, pp. 50-59, IEEE, 345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA, 2000.

Sauter, J. A., Parunak, H. V. and Goic, J.: ANTS in the Supply Chain, in *Proceedings of the Workshop on Agent-Based Decision Support Managing Internet-Enabled Supply Chain*, 1-9, 1999.

Savage, L. J.: *The foundations of statistics*, John Wiley & Sons, New York, 1954.

Sethi, A. K. and Sethi, S. P.: Flexibility in manufacturing: A survey, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2(4), 289-328, doi:10.1007/BF00186471, 1990.

Sfez, L.: *La Décision*, 4ème édition, PUF, 2004.

Shannon, R. E.: *Systems simulation : the art and science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. [online], 1975.

Shapiro, J. F.: *Modeling the supply chain*, Duxbury Pacific Grove, California, 2001.

Shen, W., Hao, Q., Yoon, H. J. and Norrie, D. H.: Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review, *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), 415-431, 2006.

Shewchuk, J. P. and Moodie, C. L.: A framework for classifying flexibility types in manufacturing, *Computers in Industry*, 33(2-3), 261-269, 1997.

Shewchuk, J. P. and Moodie, C. L.: Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 10(4), 325-349, 1998.

Shimell, M. P.: *The Universe of Risk: How Top Business Leaders Control Risk and Achieve Success*, 1er edition, Financial Times, Prentice Hall, 2001.

Sienou, A.: *Proposition d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise*, 2009.

Simon, H. A.: *The New Science of Management Decision*, First, Harper & Row, 1960.

- Simon, H. A.: A behavioral model of rational choice, *The quarterly journal of economics*, 69(1), 99–118, 1955.
- Slack, N.: The flexibility of manufacturing systems, *International Journal of Operations & Production Management*, 7(4), 35-45, 1987.
- Spearman, M. L. and Zazanis, M. A.: Push and pull production systems: issues and comparisons, *Operations Research*, 40(3), 521-532, 1992.
- Stadler, H. and Kilger, C.: Supply Chain Management]„Supply Chain Management and Advanced Planning“, Hamburg., 2000.
- Stadtler, H.: Supply chain management and advanced planning--basics, overview and challenges, *European Journal of Operational Research*, 163(3), 575-588, doi:10.1016/j.ejor.2004.03.001, 2005.
- Stadtler, H.: A framework for collaborative planning and state-of-the-art, *OR Spectrum*, 31(1), 5-30, 2009.
- Strader, T., Lin, F. and Shaw, M. J.: Simulation of Order Fulfillment in Divergent Assembly Supply Chains, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(2) [online] Available from: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/5.html> (Accessed 13 July 2010), 1998.
- Supply Chain Council: SCOR: Supply Chain Operations Reference Model, 2008.
- SupplyChainDigest: The 11 Greatest Supply Chain Disasters, 2006.
- Swaminathan, J. M., Smith, S. F. and Sadeh, N. M.: Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach, *Decision Sciences*, 29(3), 607-632, 1998.
- Tahon, C.: Evaluation des performances des systèmes de production, Hermes Science Publications, 2003.
- Tan, K. C.: A framework of supply chain management literature, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(1), 39-48, doi:10.1016/S0969-7012(00)00020-4, 2001.
- Tang, C.: Perspectives in supply chain risk management, *International Journal of Production Economics*, 103(2), 451-488, 2006.
- Teigen, R.: Information flow in a supply chain management system, Université de Toronto, 1997.
- Telle, O.: Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique, CIFRE (Airbus), Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse, 2003.
- Terzi, S. and Cavalieri, S.: Simulation in the supply chain context: a survey, *Computers in Industry*, 53(1), 3-16, doi:10.1016/S0166-3615(03)00104-0, 2004.
- Thierry, C., Thomas, A. and Bel, G.: Simulation for Supply Chain Management, ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc, 2008.
- Touzi, J., Benaben, F., Pingaud, H. and Lorré, J. P.: A model-driven approach for collaborative service-oriented architecture design, *International Journal of Production Economics*, 121(1), 5-20, 2009.
- Tremblay, C.: Le droit - Modéliser, 2003.
- Tversky, A. and Kahneman, D.: Judgment under uncertainty: heuristics and biases, *Science*, 185(4157), 1124–1131, 1974.
- Tyan, J. and Wee, H.: Vendor managed inventory: a survey of the Taiwanese grocery industry, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(1), 11-18, 2003.



van der Vaart, T. and van Donk, D. P.: A critical review of survey-based research in supply chain integration, *International Journal of Production Economics*, 111(1), 42-55, 2008.

Von Neumann, J. and Morgenstern, O.: *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press, Princeton. [online] Available from: <http://hdl.handle.net/2042/28548> (Accessed 3 September 2010), 1947.

Wald, A.: *Statistical decision functions*, Wiley, New York, 1950.

Waters, D.: *Supply Chain Risk Management: Vulnerability and Resilience in Logistics*, illustrated edition, Kogan Page Ltd, 2007.

Webster, D. B. and Tyberghein, M. B.: Measuring flexibility of job-shop layouts, *International Journal of Production Research*, 18(1), 21-29, 1980.

Weiss, G.: *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, The MIT press, 2000.

Williams, T.: *Modelling Complex Projects*, John Wiley & Sons, 2002.

Wooldridge, M.: *An Introduction to MultiAgent Systems*, 1er edition, John Wiley & Sons, 2002.

Zadeh, L.: Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3-28, 1978.

Zeigler, B. P., Praehofer, H. and Kim, T. G.: *Theory of modeling and simulation: Integrating discrete event and continuous complex dynamic systems*, Academic Press, 2000.

Ziegenbein, A. and Nienhaus, J.: Coping with supply chain risks on strategic, tactical and operational level, in *Proceedings of the Global Project and Manufacturing Management Symposium*, pp. 165-180, 2004.

Zsidisin, G. and Ritchie, R.: *Supply Chain Risk: A Handbook of Assessment, Management, and Performance*, Springer-Verlag New York Inc, 2008.

# Table des illustrations

## **INTRODUCTION GENERALE : LE MANAGEMENT DE LA COOPERATION, UN CONTEXTE A DECISIONS**

Figure 1.1 : La coopération dans la chaîne logistique .....	8
Figure 1.2: Vision du système de pilotage: plusieurs niveaux de décision.....	11
Figure 1.3 : Notre problématique .....	13
Figure 1.4: Positionnement de notre problématique et structure logique de notre démarche.....	17

## **PARTIE I : Etat de l'Art**

### **CHAPITRE 1 : PRISE DE DECISION ET MANAGEMENT DES RISQUES, APPLICATION AU MANAGEMENT DES COOPERATIONS**

Figure 2.1 : Ordination des actions par application des deux variantes du critère de Wald .....	29
Figure 2.2 : Recherche de dominance avec le critère d'Hurwitz.....	30
Figure 2.3 : Application du critère MinMax Regret sur l'exemple.....	31
Figure 2.4 : Exemple d'arbre de décision (composantes) .....	33
Figure 2.5 : Analyse numérique et ordination des actions d'un arbre .....	33
Figure 2.6 : Vision générale du risque (d'après (Gourc, 2006)).....	38
Figure 2.7 : Exemples de risques .....	38
Figure 2.8 : Processus de management des risques (International Organization for Standardization, 2008) .....	40
Figure 2.9 : Risques externes à la chaîne logistique (Gillet et al., 2007) .....	42
Figure 2.10 : Catégories de risques de la chaîne logistique selon A. Ziegenbein et J. Nienhaus (2004) .....	43
Figure 2.11 : Les sources de risques suivant R.B. Handfield et K.P. McCormack (2007) .....	44
Figure 2.12 : Notre vision de la flexibilité (collective et individuelle) .....	48
Figure 2.13 : Objectifs et leviers du VMI (Marques et al., 2010a).....	56
Figure 2.14 : Proposition d'un macro-processus du VMI .....	57
Figure 2.15 : Bilan sur les approches et méthodes identifiées pour les activités du processus de management des risques .....	60
Tableau 2.1 : Exemple de matrice d'imputation .....	32
Tableau 2.2 : Vue d'ensemble des phases, objectifs, approches et outils du SCRM (Bredell, 2004; Brindley, 2004; Peck, 2006; Tang, 2006; Waters, 2007; Supply Chain Council, 2008; Thierry et al., 2008) .....	41
Tableau 2.3 : Exemple de sources de risques dans la classification de R.S. Gaonkar et N. Viswanadharn (2007) .....	44
Tableau 2.4 : Synthèse des travaux sur la notion de « flexibilité individuelle ».....	53
Tableau 2.5 : VMI, poussé ou tiré ?.....	58
Tableau 2.6 : Avantages et inconvénients du protocole <i>engagement sur approvisionnement</i> .....	58

## **CHAPITRE 2 : LA MODELISATION : REPRESENTATION ET SIMULATION, APPLICATION A LA CHAINE LOGISTIQUE**

Figure 3.1 : Les entités d'une démarche de modélisation et simulation (Zeigler <i>et al.</i> , 2000) .....	70
Figure 3.2 : Démarche globale de modélisation et simulation d'après (Frantz, 1995) .....	70
Figure 3.3: Etapes d'une étude par simulation (Banks <i>et al.</i> , 1996).....	72
Figure 3.4: notre vision de d'une démarche de simulation .....	73
Figure 3.5: Types d'agrégation des données en gestion de production (d'après (Shapiro, 2001)) .....	78
Figure 3.6 : Types d'agrégation des données en gestion de production (d'après (Hetreux, 1996)) .....	79
Figure 3.7: Des agents aux capacités et aux objectifs différents (adapté de (Forget <i>et al.</i> , 2008)) .....	82
Figure 3.8: champs d'application des SMA selon (Lee and Kim, 2008) .....	83
Figure 3.9: champs d'application des SMA selon (Shen <i>et al.</i> , 2006) .....	84
Figure 3.10: champs d'application des SMA selon (Monostori <i>et al.</i> , 2006) .....	84
Figure 3.11: Comparaison modèles orientés "événements" et "périodes de temps" .....	91
Figure 3.12: principe de fonctionnement d'un modèle à événements discrets .....	92
Figure 3.13: Bilan sur les critères de distinction des problématiques, des modèles représentatif et de simulation	94
Tableau 3.1: Deux typologies des techniques d'abstraction .....	76
Tableau 3.2 : Modèles "par périodes" et "par dates de début" (à partir de (Thierry <i>et al.</i> , 2008)) .....	80
Tableau 3.3: Projets de modélisation à base d'agents .....	88
Tableau 3.4: Exemple d'entités modélisables dans une chaîne logistique et attributs et méthodes associés ....	90

## **PARTIE I : Proposition**

### **CHAPITRE 3 : LOGIRISK, OUTIL DE SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS A BASE D'AGENTS**

Figure 4.1: Niveaux et lieux des décisions observées .....	101
Figure 4.2: Décomposition du modèle représentatif par niveaux d'abstractions.....	102
Figure 4.3: Modèle représentatif d'un acteur (agent LogiRisk).....	103
Figure 4.4: Schématisation du processus physique d'un acteur LogiRisk .....	103
Figure 4.5: Les délais d'un acteur LogiRisk .....	104
Figure 4.6: Processus de planification d'un acteur LogiRisk ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006))....	106
Figure 4.7: Fonction d'un agent SOP (agent (I)) .....	108
Figure 4.8: Décomposition des activités d'un agent SOP (agent (I)) .....	109
Figure 4.9: Effet du lissage sur le rattrapage de capacité .....	111
Figure 4.10: Fonction principale d'un agent MTP (agent (II)).....	113
Figure 4.11: Décomposition des activités d'un agent MTP (agent (II)) .....	113
Figure 4.12: Fonction principale de l'agent STP (agent (III)) .....	114
Figure 4.13: Décomposition des activités d'un agent STP (agent (III)).....	114
Figure 4.14: Variation du nombre de kanbans sur une période de temps .....	116
Figure 4.15: fonction principale de l'agent L&IM (agent (IV)).....	117
Figure 4.16: Décomposition des activités d'en agent L&IM (agent (IV)).....	118
Figure 4.17: Représentation d'un protocole de type « poussé » ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006))	121
Figure 4.18: Représentation d'un protocole de type « tiré » ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006)).	122
Figure 4.19: Représentation d'un protocole de type <i>plan d'approvisionnement</i> .....	123
Figure 4.20: Principe d'affermissement d'un engagement .....	123
Figure 4.21: Déroulement du calcul d'affermissement d'un engagement d'approvisionnement .....	124
Figure 4.22: Fonction principale d'un agent LA.....	124
Figure 4.23: Représentation d'un protocole de type « VMI » (d'après (Marquès et al., 2008b, 2009c)) .....	125
Figure 4.24: Bilan des « outputs » de l'agent aval (limite aval entre 2 acteurs du système réel) .....	126
Figure 4.25: Représentation du comportement réel de la demande et de son interprétation par les agents...	128

Figure 4.26: Bilan des « outputs » du module aval (limite aval entre les fonctions « supply » et « production » d'un acteur du système réel).....	129
Figure 4.27: Impact des sources de perturbation d'un plan de besoins bruts moyen terme et horizons associés (Marquès et al., 2010c) .....	131
Figure 4.28: Principe de fonctionnement de l'agent aval .....	136
Figure 4.29: Traitement d'une expérience (input/output).....	138
Figure 4.30: Exemples d'indicateurs suivis pour un acteur .....	138
Figure 4.31: Ordre de réalisation des processus de planification dans la chaîne ((Marquès et al., 2009c) d'après (Mahmoudi, 2006)) .....	140
Figure 4.32: Principe général du modèle de simulation.....	142
Figure 4.33: traitement d'un plan d'expériences (input/output).....	143
Figure 4.34: Principe de réalisation d'un plan d'expériences (plan d'expériences distribué de simulations centralisées) .....	143
Figure 4.35: Trois modes d'évaluation d'un plan .....	145
Figure 4.36: Exemples de phénomènes détectés par l'évaluation globale .....	145
Figure 4.37: Exemple d'évaluation « statique » d'un plan à une date donnée.....	146
Figure 4.38: Exemples de phénomènes détectés par l'évaluation statique sur l'indicateur $W_{HA}^{HT}(p)$ .....	147
Figure 4.39: Illustration des périodes communes à deux dates de mises à jour d'un plan ( $\Delta t = 1 \times p$ ) .....	148
Figure 4.40: Représentation graphique des mesures « dynamiques » .....	149
Figure 4.41: Exemples d'utilisations de la représentation graphique des mesures « dynamiques » pour caractériser certaines décisions ou aléas.....	150
Figure 4.42: traitement de chaque fichier résultats en sortie de simulation LogiRisk.....	151
Figure 4.43 : Illustration du principe de variance (inspirée de (Pillet, 1997) .....	152
Figure 4.44 : Chaîne logistique étudiée (validation statistique des résultats) .....	154
Figure 4.45 : Demande générée par la partie avale de la chaîne étudiée.....	155
 Tableau 4.1: Calcul des proratas sur les quantités à livrer en protocole VMI.....	119
Tableau 4.2: Détails des équations des modèles (d'après (Mahmoudi, 2006) et (Marquès et al., 2009c)).....	120
Tableau 4.3: identification et caractérisation des impacts LT, MT et CT (Marquès et al., 2010c) .....	132
Tableau 4.4: Identification et caractérisation des impacts TCT (Marquès et al., 2010c) .....	133
Tableau 4.5: Exemple de valeurs prises par les mesures de l'évaluation « dynamique ».....	148
Tableau 4.6: Description des scénarios illustratifs de l'évaluation dynamique .....	150
Tableau 4.7 : Facteurs du plan d'expériences et niveaux associés .....	155
Tableau 4.8 : Conclusion sur la significativité des facteurs du plan d'expérience sur la période observée.....	156
Tableau 4.9 : Conclusion sur la significativité des interactions entre facteurs du plan d'expérience sur la période observée.....	157

## **CHAPITRE 4 : LA SIMULATION AU CŒUR D'UNE DEMARCHE DE MANAGEMENT DES RISQUES POUR LA GESTION DE LA COLLABORATION**

Figure 5.1: structure d'un processus de décision.....	167
Figure 5.2: Exemple d'arbre de décision construit.....	169
Figure 5.3 : Exemple d'exploration successive (critères Laplace, Wald, Hurwitz).....	171
Figure 5.4 : Exemple d'exploration par recherche d'un arbre de décision .....	172
Figure 5.5: Exemple d'arbre traité .....	172
Figure 5.6: Fonction principale du modèle de simulation du processus de décision (Trisk) .....	173
Figure 5.7 : Vue générale de la démarche proposée et intégration des outils .....	175
Figure 5.8: Démarche de management des risques pour le management des relations industrielles (inspirée de (Marquès et al., 2010b)).....	178

Tableau 5.1 : Exemples de séquences possibles dans une structure de processus de décision .....	166
---	-----

## **CHAPITRE 5 : LA GESTION DE LA COOPERATION DE PIERRE FABRE AVEC SES FOURNISSEURS DE PRODUITS DE CONDITIONNEMENT**

Figure 6.1 : La chaîne logistique de PFDC.....	187
Figure 6.2 : Représentation simplifiée des processus de planification de la production (semi-fini) PFDC .....	190
Figure 6.3 : Représentation détaillée des processus de planification du centre de production PFDC (fonctions « production » et « supply ») .....	190
Figure 6.4 : Structure du processus de décision ( $Pb_1$ ).....	202
Figure 6.5 : Arbre de décision non valué ( $Pb_1$ ) .....	203
Figure 6.6 : Arbre de décision valué ( $Pb_1$ ) .....	204
Figure 6.7 : Exemple de traitement de l'arbre déduit de la structure du processus de décision ( $Pb_1$ ).....	204
Figure 6.8 : Structure du processus de décision ( $Pb_2$ ).....	207
Figure 6.9 : Arbre de décision non valué ( $Pb_2$ ) .....	208
Figure 6.10 : Arbre de décision valué ( $Pb_2$ ) .....	209
Figure 6.11 : Exemple de traitement de l'arbre déduit de la structure du processus de décision ( $Pb_2$ ).....	210

Tableau 6.1 : Vue générale de la modélisation agrégée de la fonction production de PFDC (sources de perturbations du plan de besoins bruts).....	191
Tableau 6.2 : Description qualitative des quatre produits "tests" pour la validation du modèle aval .....	192
Tableau 6.3 : Comparaison des évaluations « globales » des données réelles et expérimentales.....	193
Tableau 6.4 : Comparaison des évaluations « statiques » des données réelles et expérimentales .....	194
Tableau 6.5 : Comparaison des évaluations « dynamiques » des données réelles et expérimentales .....	196
Tableau 6.6 : Résumé des notations utilisées .....	200
Tableau 6.7 : Définition des indicateurs suivis.....	201
Tableau 6.8 : Association décision-indicateurs de performance .....	202
Tableau 6.9 : Résultats itérations traitements de l'arbre $Pb_1$ .....	205
Tableau 6.10 : Résultats itérations traitements de l'arbre $Pb_2$ .....	211

## **CONCLUSION**

Figure C.1 : Prise de décision, aide à la décision et simulation .....	216
--	-----

## **ANNEXES**

Figure A.1 : Projection du cadre méthodologique agent de (Galland, 2001) sur la démarche de modélisation proposée .....	261
Figure A.2 : Projection du cadre méthodologique agent de (Labarthe <i>et al.</i> , 2007) sur la démarche de modélisation proposée .....	262
Tableau A.1 : Résultats Analyse de Variance 1.....	277
Tableau A.2 : Résultats Analyse de Variance 2.....	284



# Annexes

ANNEXE 1	A REVIEW OF VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI): FROM CONCEPT TO PROCESSES (MARQUES ET AL., 2010A).....	241
ANNEXE 2	DESCRIPTION PROJETS SMA (CADRE DE MODELISATION) .....	259
ANNEXE 3	DESCRIPTION DES PROJETS SMA (PROBLEMATIQUES SPECIFIQUES).....	263
ANNEXE 4	MODELE DE LA FONCTION COUVERTURE ( $COUV(PLAN ; NB)$ ) .....	269
ANNEXE 5	FONCTION DE CONSTRUCTION DE LA LISTE DES LONGUEURS DE PERIODES A VALEUR NULLE D'UN PLAN .....	271
ANNEXE 6	ANALYSE DE VARIANCE 1 .....	273
ANNEXE 7	ANALYSE DE VARIANCE 2 .....	279





## **Annexe 1 A REVIEW OF VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI): FROM CONCEPT TO PROCESSES (MARQUES ET AL., 2010A)**

This article was downloaded by: [Marques, Guillaume]

On: 17 October 2010

Access details: Access Details: [subscription number 927517535]

Publisher Taylor & Francis

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



## Production Planning & Control

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713737146>

### A review of Vendor Managed Inventory (VMI): from concept to processes

Guillaume Marquès<sup>ab</sup>; Caroline Thierry<sup>b</sup>; Jacques Lamothe<sup>a</sup>; Didier Gourc<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Université de Toulouse, Mines Albi, Centre Génie Industriel, France <sup>b</sup> Université de Toulouse, IRIT, Toulouse Cedex 09, France

Online publication date: 01 October 2010

**To cite this Article** Marquès, Guillaume , Thierry, Caroline , Lamothe, Jacques and Gourc, Didier(2010) 'A review of Vendor Managed Inventory (VMI): from concept to processes', Production Planning & Control, 21: 6, 547 — 561

**To link to this Article:** DOI: 10.1080/09537287.2010.488937

**URL:** <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2010.488937>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

## A review of Vendor Managed Inventory (VMI): from concept to processes

Guillaume Marquès<sup>ab\*</sup>, Caroline Thierry<sup>b</sup>, Jacques Lamothe<sup>a</sup> and Didier Gourc<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Université de Toulouse, Mines Albi, Centre Génie Industriel, Campus Jarlard – 81013 Albi CT Cedex 09, France;

<sup>b</sup>Université de Toulouse, IRIT, 118 Route de Narbonne 31062, Toulouse Cedex 09, France

(Final version received 10 April 2010)

In the modern supplier–customer relationship, Vendor Managed Inventory (VMI) is used to monitor the customer's inventory replenishment. Despite the large amount of literature on the subject, it is difficult to clearly define VMI and the main associated processes. Beyond the short-term pull system inventory replenishment often studied in academic works, partners have to share their vision of the demand, their requirements and their constraints in order to fix shared objectives for the medium/long-term. In other words, the integration of VMI implies consequences for the collaborative process that links each partner's different planning processes. In this article we propose a literature review of VMI. Based on the conceptual elements extracted from this analysis, we suggest a VMI macro-process that summarises both operational and collaborative elements of VMI.

**Keywords:** Vendor Managed Inventory; supply chain management; collaboration

### 1. Introduction

VMI... Very Many Interpretations of Vendor Managed Inventory! The witticism emphasises the prevailing vagueness that surrounds this expression and its applications in industry. Today, using supply chain collaboration more strategically has become crucial. It enables the creation of new revenue opportunities, efficiencies and customer loyalty (Ireland and Crum 2005). Of these supply chain collaborations, Vendor Managed Inventory (VMI) is today used in industry and has inspired a large number of academic works.

However, in terms of implementation, it is clear that VMI is limited to particular situations. Nowadays VMI is almost exclusively synonymous with a distribution context. So the focus must be on how to extend distribution–VMI notions to the relationship between industrial partners.

Furthermore, describing supply chain management (SCM) Brindley (2004) underlines the difference between the notions of logistics as physical and tangible activities, and the construction and management of relationships in terms of the behavioural and intangible dimensions. Therefore, beyond the tangible short-term replenishment dimension of VMI, what does implementation of VMI mean in terms of relationships, tactics and strategic exchanges?

The purpose of this article is to explore these physical and behavioural dimensions through a review

of the VMI literature. Using this review we build a global definition of the concept and the associated processes.

Thus, in Section 1 we present an overview of the literature that underlines the vagueness that surrounds VMI. In Section 2 we focus on VMI: what is VMI exactly in the literature and how VMI can be concretely implemented in the supply chain? In Section 3 we suggest a macro-process model of VMI, based on the concept. Finally, we draw several conclusions and present future research works.

### 2. Syntactic literature overview

Three main types of contribution can be found in the literature: general, case studies and models. General papers give a general definition of VMI and the main benefits of its application. Industrial case studies determine the boundaries of the VMI application, its benefits and limitations. Finally, modelling papers propose mathematical models that underline key parameters that impact VMI performance.

#### 2.1. Expressions used to describe VMI

We first analysed how the term VMI is described in the literature. We are interested in the introductions and descriptive parts of the different papers. It can be noticed that authors use more than four different words or expressions to qualify VMI in the same article.

\*Corresponding author. Email: [marques@mines-albi.fr](mailto:marques@mines-albi.fr)

We found 26 expressions used to describe VMI (see the Appendix) which can be organised in five families:

- *Concept*: expressions used in a very broad and generic sense.
- *Process*: expressions showing a functional, process-oriented approach to VMI.
- *Cooperation*: expressions emphasising the relationship between partners.
- *Cooperative process*: this family inherits process and cooperation families.
- *Technology*: focuses on technologies that support VMI.

Once the families have been identified, the Appendix quantifies uses of each expression. For any given article, the figures expressed as a percentage associated with a particular expression represent the frequency of apparition of this expression in proportion to the totality of the expressions used in this article.

Globally, all authors introduce VMI in general terms belonging to the *concept* family. The *process* terms are used in a majority of papers, but are less developed. The *cooperation* and *technology* sides are mainly treated in case studies. Modelling papers broach the *cooperative process*, even if each author develops a particular view of the cooperative process.

This first overview of the literature underlines that a general consensus exists around the concept and the main expectations associated with VMI. However, authors have their own interpretations of the integration of the cooperative process. As Vigtil (2007a) argues, interpretations and uses of the terms are almost as numerous as the authors themselves. Consequently, the purpose of the next section is to present an overview of SCM terms and their links found in the literature.

## 2.2. Other SCM terms compared to VMI

Many terms and/or expressions relating to SCM are found in the VMI literature: VMI, Vendor Managed Replenishment (VMR), Co-Managed Inventory (CMI), Supplier-Managed Inventory (SMI), Efficient Consumer Response (ECR), Quick Response (QR), Continuous Replenishment (CR) also named Continuous Replenishment Processes (CRP) or Automatic Replenishment (AR), Consignment Inventory or Stock (CS), Just-In-Time (JIT), Retailer-Supplier Relationship (RSP), Retailer Managed Inventory (RMI), Information Sharing (IS) or Technology, etc. However, authors do not place the same interpretations on the terms. Table 1 shows the difficulty of extracting a consensus about the place of

VMI in SCM. However, common interpretations between authors can be highlighted:

- Authors who do differentiate between the terms and consider VMI as a supply chain strategy like Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR), Capacity Constraining Resource (CCR), QR, etc.
- Authors who consider VMI to be an element of ECR.
- Authors who see the VMI as a type of CR and who compare it to traditional inventory management. We can see that this group is exclusively composed of modelling papers.
- Authors who distinguish between VMI and CPFR. This group is close to the first one. The comparisons, however, are more precise.
- Authors who associate VMI with transfer of property (consignment).
- Authors who consider VMI as an alternative to traditional CR.

Vigtil (2007a) proposes a different way of underlining this diversity in the interpretations. She built six umbrella terms based on her literature review: RSP, AR Program, CMI, Centralised Inventory control, VMI, ECR. We can establish some links between the two classification approaches, mainly between:

- her VMI and our SCS;
- her ECR and our ECR;
- her AR Program and our CR.

This first syntactic analysis shows the difficulties in accurately defining VMI. However, even if each author uses their own words and expressions, most of them share the same concept of VMI. The next section presents the elements of this concept that we found in the literature.

## 3. The concept

Two types of element can be distinguished in general, case studies and modelling papers when seeking to identify the concept of VMI: on the one hand, the main objectives associated with VMI (Section 3.1); on the other hand, the decision levers (Section 3.2) used to reach these objectives, that we call the determinants. Moreover, Sections 3.3 and 3.4 aim at measuring determinants effect on objectives and to underline particular elements of the VMI context which are studied in the contribution of modelling (Section 3.3) and case study papers (Section 3.4).

Table 1. VMI and other SCM terms in the literature.

Shared Notion	Authors	VMI is an element of	VMI is an alternative or is different from	VMI is synonymous with
A supply chain strategy	(Wong <i>et al.</i> 2009)	IS	ECR, CPFR, QR	
	(Disney <i>et al.</i> 2004), (Yao and Dresner 2008), (Disney and Towill 2002b), (Disney and Towill 2002a), (Disney and Towill 2003)		IS, CR, CPFR, ECR	
	(Yao <i>et al.</i> 2007a)		CR, JIT, QR, ECR	
An element of ECR	(Holweg <i>et al.</i> 2005)	<b>ECR</b>	CPFR, CR	VMR,QR
	(Kaipia and Tanskanen 2003), (Holmström 1998)	<b>ECR</b>		
	(Kuk 2004)	<b>ECR, QR</b>		
	(Kauremaa <i>et al.</i> 2007), (De Toni and Zamolo 2005)	<b>ECR</b>		CR
An element of Continuous Replenishment (CR)	(Nagarajan and Rajagopalan 2008), (Yu and Liu 2008), (Cai <i>et al.</i> 2008), (Zhu and Peng 2008), (Bichescu and Fry 2009), (Mishra and Raghunathan 2004)	<b>CR</b>	RMI	
	(Vigtil and Dreyer 2008)	<b>CR</b>	CPFR	
	(Småros <i>et al.</i> 2003)	<b>IS, CR</b>	RMI	
An alternative to CPFR	(Sari 2008)		<b>CPFR</b>	CR
	(Meixell and Gargeya 2005)		<b>CPFR</b>	
	(Nachiappan <i>et al.</i> 2007), (Nachiappan and Jawahar 2007)	IT	<b>CPFR</b>	
	(Achabal <i>et al.</i> 2000)		<b>CPFR, QR</b>	
	(Vigtil and Dreyer 2008)	CR	<b>CPFR</b>	
	(Holweg <i>et al.</i> 2005)	ECR	<b>CPFR, CR</b>	VMR,QR
An alternative to CR	(Gronalt and Rauch 2008), (Lee <i>et al.</i> 2000), (Al-Ameri <i>et al.</i> 2008), (Cetinkaya and Lee 2000), (Song and Dinwoodie 2008)		<b>CR</b>	
	(Dong and Xu 2002)		<b>CR</b>	CS
	(Holweg <i>et al.</i> 2005)	ECR	CPFR, <b>CR</b>	VMR,QR
Synonymous with CR	(Clark and Hammond 1997), (Southard and Swenseth 2008), (Waller <i>et al.</i> 1999)			<b>CR</b>
	(Sari 2008)		CPFR	<b>CR</b>
	(Kauremaa <i>et al.</i> 2007), (De Toni and Zamolo 2005)	ECR		<b>CR</b>
Synonymous with Consignment	(Zavanella and Zanoni 2009)			<b>CS</b>
	(Dong and Xu 2002)		CR	<b>CS</b>
Others	(Blatherwick 1998)		CMI	
	(Simchi-Levi <i>et al.</i> 2000), (Tyan and Wee 2003)	RSP	QR	
	(Henningsson and Lindén 2005), (Gröning and Holma 2007)	SCM		
	(Kaipia <i>et al.</i> 2002), (Dong <i>et al.</i> 2007)		JIT	

### 3.1. Objectives of VMI

Expressions extracted from the concept and process families provide all the elements needed to identify the objectives of VMI. According to Tang (2006), the customer's target is to ensure higher *consumer service level* with lower *inventory costs*. The supplier's target is to reduce *production, inventory and transportation costs*. However, we can identify shared objectives, which permit the creation of better collaboration between partners and thus the attainment of the main objectives: tightening the different flows, *speeding up the supply chain* (Holweg et al. 2005) and *reducing the bullwhip effect* (Achabal et al. 2000, Cetinkaya and Lee 2000, Disney and Towill 2003, Holweg et al. 2005).

### 3.2. VMI determinants

Many authors focus their analysis on a single, or a limited number, of links between one objective and its associated determinants. All authors agree with the cornerstone of VMI: the transfer of customer's *inventory management responsibility* from customer to supplier (Kaipia and Tanskanen 2003, Kuk 2004, Holweg et al. 2005, Tang 2006, Dong et al. 2007, Gronalt and Rauch 2008).

Furthermore, implementing VMI leads the supplier to a higher *replenishment frequency* with smaller replenishment quantities (Dong et al. 2007, Yao et al. 2007b): from monthly replenishment to weekly, or even daily (Waller et al. 1999). As a consequence, VMI leads to greater inventory cost saving (Cetinkaya and Lee 2000) without negatively impacting the overall dynamic performance of the supply chain (Zhao and Cheng 2009). The delivery frequency appears to the supplier to be a performance lever. The supplier increases the percentage of low-cost full truckload shipments and can opt for more efficient route planning with multi stops to replenish several customers' inventories (Waller et al. 1999). The supplier gains more freedom, making decisions on quantity and timing of replenishment (Rusdiansyah and Tsao 2005). Some authors (Kauremaa et al. 2007, Claassen et al. 2008, Wong et al. 2009) translate this new degree of freedom into a better flexibility.

The supplier bases replenishment decisions on the same information as previously used by the customer to make purchase decisions (Holweg et al. 2005). So, when VMI is implemented, the supplier has a *better vision of the customer's demand* (Kaipia and Tanskanen 2003). This results in higher predictability (Nagarajan and Rajagopalan 2008), more accurate sales forecasting methods and more effective

distribution of inventory in the supply chain (Achabal et al. 2000). According to Claassen et al. (2008), the supplier can respond to demand volatility proactively instead of reactively. *Production, logistics and transportation costs* can be reduced through coordinated production and replenishment plans for all customers (Tang 2006, Yu et al. 2009). Due to better visibility, the supplier is able to smooth the peaks and valleys in the flow of goods (Kaipia and Tanskanen 2003); in other words, it *reduces the bullwhip effect* (Zhu and Peng 2008). Disney and Towill (2003) have demonstrated that VMI can reduce this effect by 50%, mainly due to the *visibility of the demand* via the in-transit and customer inventory levels. Yao and Dresner (2008) show that information sharing reduces the supplier's safety stock, thereby reducing the average inventory level.

As the ordering processing is changed, risk allocation changes too. Cachon (2004) explains that VMI is a particular pull contract and that in consequence the allocation of inventory risk is different from a push contract: i.e. at the supplier's inventory. As a consequence, VMI implementation most often results in a *backing up of stocks from the customer to the supplier warehouse* (Blatherwick 1998).

The supplier has to maintain the customer's inventory level within certain pre-specified limits (Tang 2006) based on *minimum and maximum ranges* (ODETTE 2004). The supplier must keep sufficient inventory at the customer's site to insure minimal *customer service level (CSL)*. According to Yao et al. (2007b), the maximum inventory level has to be limited, otherwise the supplier will push inventory onto the customer, thereby increasing *inventory costs*. ODETTE (2004) emphasise the fact that minimum/maximum inventory levels have to be mutually agreed by the partners.

Figure 1 shows the relations between VMI objectives and determinants, differentiating between individual and collaborative (supply chain) objectives. The link between one determinant and the objective is not exclusive: each objective inherits all the determinants below.

The objectives and determinants we have identified in this section constitute a consensus view of the VMI concept shared by most authors. However, we do not find a similar consensus in terms of model interpretations and applications. Furthermore, papers differ when it comes to demand structure and the nature and number of supply chain members. Consequently, the next two sections are centred on a more detailed presentation of modelling papers and case studies.



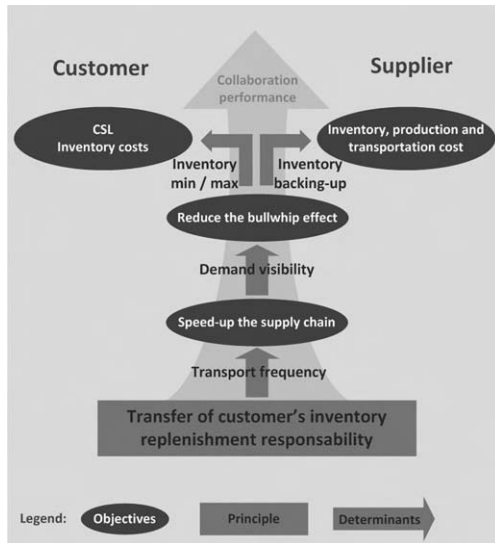


Figure 1. VMI objectives and associated determinants.

### 3.3. Measuring determinant effect and VMI application benefits: modelling paper contributions

In this section we focus on the contributions of modelling paper. These characterise the tangible short-term aspect of the VMI: the production and replenishment decision. Most are centred on short-term horizons. The main determinants considered are replenishment quantity and/or frequency decisions. These can be classified into two main model types: analytical and simulation. Both families integrate determinist and/or stochastic demand. This field of research's objectives in this category covers a broad scope. However, the problems addressed in the different contributions are mostly very specialised.

#### 3.3.1. Analytical models

Analytical models represent the majority of the modelling papers. Authors are not interested in the same types of chains. These can be differentiated in two families: dyadic (two-echelons) and non-dyadic (multi-echelons) supply chains.

**3.3.1.1. Dyadic supply chains.** When deterministic demand is considered, the papers mostly aim at reducing inventory and most authors use Economic Order Quantity (EOQ) inventory management techniques

In the short term, Dong and Xu (2002) show that VMI decreases the supplier's inventory cost and increases contract purchase price under certain conditions. Yao *et al.* (2007b), Nagarajan and Rajagopalan (2008) and Liu *et al.* (2008) then show that inventory holding costs increase for the supplier and decrease for the customer, thereby emphasising the inventory

backing-up in the chain with an increase in the replenishment frequency. On the other hand, Gümüs *et al.* (2008) determine that the association of VMI and consignment, so-called C&VMI, could be an attractive alternative for suppliers when consignment does not decrease its total costs.

When considering stochastic demand, authors focus on the different objectives and determinants of VMI. Lee *et al.* (2000) and Jiang-hua and Xin (2007) analyse the benefit of information sharing and demand visibility in the chain in terms of inventory level, holding costs and total profit. Yao and Dresner (2008) study the division of benefits in the chain and show that the distribution of benefits depends on parameters such as replenishment frequency and inventory holding cost. Fry *et al.* (2001) suggest a  $(z, Z)$  contract where the customer sets minimum  $z$  and maximum  $Z$  inventory levels. Suppliers pay penalties if these limits are not respected. They maximise the service level using a Markov decision process. Yao *et al.* (2007a) focuses on the inventory backing-up and introduce the notion of the stock-out risk that the customer wants to bear. Moreover, Song and Dinwoodie (2008), Bichescu and Fry (2009) and Zhao and Cheng (2009) propose different order quantity approaches in the face of uncertainty (demand and lead-time), studying different situations: VMI as a function of inventory levels or a function of channel power (powerful retailer, powerful supplier and equally powerful). Zhao and Cheng (2009) conclude with an aspect rarely treated in modelling papers: the value of VMI in strategic and operational terms.

**3.3.1.2. Non-dyadic supply chains.** In the case of non-dyadic supply chains with determinist demand, most studies work on the delivery frequency and order quantities in order to minimise different indicators: inventory holding and transportation cost, channel profit and global cost. In this context, Rusdiansyah and Tsao (2005) use the periodic Travelling Salesman Problem where one supplier replenishes  $n$  customers, Nachiappan and Jawahar (2007) and Nachiappan *et al.* (2007) propose a genetic algorithm to solve a non-linear integer programming optimisation problem, Zavanella and Zanoni (2009) propose an optimisation model, Al-Ameri *et al.* (2008) propose a mixed integer-linear programme.

On the other hand, Yu *et al.* (2009) address the problem as the Stackelberg Game where the manufacturer is the leader. The question is to determine replenishment cycles, wholesale and retail prices in order to maximise profit. Even if the demand is determinist, it is function of the price.



When considering stochastic demand and supply chains with one supplier and several customers, authors adopt periodic review models to determine quantity and time of replenishment orders. Consequently, they evaluate the value of new determinants in a VMI context: shipment scheduling flexibility to reduce inventory carrying costs and stock-out problems (Cetinkaya and Lee 2000); effects of transport costs and transport capacities (Yu and Liu 2008); risks shifted to the suppliers and the impact of the minimum CSL constraint on the replenishment order quantity (Wong *et al.* 2009); interest of products' brand substitutability on profit and actors' stock level (Mishra and Raghunathan 2004) and gains allowed by transshipment possibilities (Cai *et al.* 2008).

### 3.3.2. Simulation models

Discrete event simulation is used to evaluate the benefits of VMI using real demand data: Southard and Swenseth's (2008) study increased delivery frequencies and showed the reduction of inventory, delivery and stock-out costs and the improvement to the CSL. The Hewlett-Packard and Campbell Soup Company study (Waller *et al.* 1999) also shows that the supplier can increase its capacity utilisation using enhanced production smoothing and concludes with the relative non-impact of demand volatility in a VMI context.

Discrete event simulation also enables comparisons between VMI and CPFR. In a four-echelon supply chain, Cigolini and Rossi (2006) evaluate service level, inventory level, inventory rotation, inventory holding cost and forecast accuracy. They conclude that VMI is justified in the case of high demand variability. In a 1–1 chain, Sari (2008) studies the order quantity in a periodic review system and evaluates CSL and total supply chain costs. In this case, CPFR has an advantage over VMI.

The impact of VMI on the bullwhip effect is also studied. Småros *et al.* (2003) compare traditional and VMI distributors of the same manufacturer. They show that the bullwhip effect is reduced due to the market demand visibility offered by the VMI distributors. But this benefit is more significant as the manufacturer's production planning frequency increases for products with low replenishment frequencies. In an  $n-1-n$  three-echelon supply chain and a VMI EOQ re-order point system, Zhu and Peng (2008) study the decrease of the order quantity. They show that the bullwhip effect and holding inventory costs are reduced. But the profit gains are mainly for the customer, which justifies profit sharing.

Disney and Towill's research works represent the reference in terms of continuous simulation (system

dynamics) of VMI. In their papers they adapt a model based on an order-up-to level called Automatic Pipeline Inventory and Order-Based Production Control System (APIOBPCS) in order to analyse VMI. Disney and Towill (2002a) make a study of system stability. Disney and Towill (2002b) also propose a Decision Support System to design VMI parameters that maximise CSL and minimise the bullwhip effect. Disney and Towill (2003) compare normal APIOBPCS and VMI-APIOBPCS to show that VMI considerably reduces the bullwhip effect. Wilson (2007) uses the APIOBPCS model to show that transport disruptions in a five-echelon supply chain are less severe with VMI.

More generally, Disney *et al.* (2004) propose assessing the impact of Information and Communication Technologies (ICT) using a Beer Game approach.

### 3.4. VMI case studies

This section focuses on the analysis of the case study papers. These papers underline the fact that VMI is more than an operational replenishment system. First, VMI is a part of a larger collaboration partnership that includes tactical and strategic exchanges between partners. Second, these exchanges imply information technology changes.

#### 3.4.1. Factors for success and failure

VMI has been widely adopted by many industries for years. The traditional VMI implementation success story is the partnership between Wal-Mart and Procter & Gamble. Case studies allow particular success factors to be highlighted.

*Trust in the partner* is the most cited success factor in the case studies (Kauremaa *et al.* 2007, Claassen *et al.* 2008, Vigtil and Dreyer 2008). This is due to the volume of information exchanges implied by the VMI implementation. *Existing collaborations between the two actors* therefore makes this trust easier (Dong *et al.* 2007).

Some authors pay particular attention to *medium/long-term collaboration*. Implementation in the electrical sector shows that it allows supplier's production capacity to be scaled and a determination to be made of customer minimum and maximum inventory levels (De Toni and Zamolo 2005). According to Achabal *et al.* (2000), who propose VMI Decision Support System and apply it to 30 retailers, and Clark and Hammond (1997) who study the grocery industry, collaborative forecasting is the main element of this medium/long-term collaboration. Holweg *et al.* (2005) explain that if a supplier does not integrate several key

items of information at the tactical planning level, the VMI impact is negative: the bullwhip effect increases.

Furthermore, the *more dynamic VMI parameters* such as minimum/maximum levels, the better the performance. Claassen *et al.* (2008), who studied five cases in different industries, and Henningsson and Lindén (2005), who studied Ikea's VMI approach, point out that dynamic arrangement for minimum and maximum inventory levels should be preferred over static ones (fixed for a year).

Other authors, however, relate cases of failure or limited improvement that provide information about failure factors. For example, in the Taiwanese grocery industry more than 50% of VMI implementations failed (Tyan and Wee 2003).

Market characteristics are often cited. Dong *et al.* (2007) and Tyan and Wee (2003) underline the negative consequences of a *weak market competitiveness*. Clark and Hammond (1997) and Deakins *et al.* (2008) both show that VMI is also more difficult to implement when *demand is volatile* or *not reasonably predictable* (fashions, seasonal foods, etc.).

Supply chain characteristics are also source of failure factors. According to Tyan and Wee (2003), *complicated logistics flows* and *complex distribution channels* are a reason for VMI implementation failure. Kauremaa *et al.* (2007) explain the adverse consequences of *big distribution package size* and poor choices in the *composition of product assortments* in different industrial sectors.

Actors' commitment is another source of failure. *Actors' lack of shared understanding of the concept*, and their *lack of confidence in information sharing* and computer systems could explain some VMI failures (Vigtil and Dreyer 2008). For example, the Ikea case study (Henningsson and Lindén 2005) showed that if *demand information is not integrated in the forecast and Master Production Scheduling processes*, service and inventory levels cannot be improved.

These different points imply an increasing risk of loss of control by the customer, and/or the increase of supplier's administrative costs. As far as the benefits of VMI are studied, five case studies (Claassen *et al.* 2008) suggest that most managers expect major cost reductions, while more benefits can be expected from improved service levels and supply chain control. In addition, Kauremaa *et al.* (2007) add that operational benefits of VMI are largely explained by the collaboration philosophy that characterises VMI.

The majority of papers cited above centred on industrial–distributor relationships. However, De Toni and Zamolo (2005) explain that VMI implementation at Electrolux started with a distributor, but that it was successfully developed to the other echelons

in the supply chain. Gentine (2002) gives general perspectives about a VMI application to an industrial–industrial relationship: inventory levels and transport cost can be reduced using the new levels of freedom enjoyed by the supplier.

#### 3.4.2. Information exchange: the support technology

One of the success factors for VMI implementation has a special place in the literature: the technological aspects. The implementation of VMI substantially increases the volume and frequency of information transmissions (Clark and Hammond 1997, De Toni and Zamolo 2005, Vigtil 2007b). Consequently, *combining VMI processes and technological innovations* appears as another success factor (Clark and Hammond 1997). The critical aspect is not the technology capabilities limiting the level of data exchanged, but the level of complexity (level of product variants and shipped volumes) in the set of data exchanged (Vigtil and Dreyer 2008). Furthermore, the type of information exchanged is a function of actors' production strategy (make-to-order, make-to-stock) (Vigtil 2007b). So, VMI is restricted by the actors' degrees of expertise. Nevertheless, Clark and Hammond (1997) argue that the cost of manual implementation of a VMI process exceeds the benefits. Successful implementations of VMI therefore depend on IT platforms, communication technology and product identification and tracking systems such as EDI, UCC, ERP, etc. (Waller *et al.* 1999).

Inaccurate demand and inventory information also affect the optimal order quantities determined by the manufacturer, thereby reducing the profits of all partners. A combination of EDI and RFID can, therefore, improve VMI efficiency and effectiveness (Yao *et al.* 2007a).

#### 3.4.3. Contributions made by trade associations

The trade association points of view share many of the elements previously cited in the general, modelling and case study papers, but always with a certain disparity in the interpretation of words. However, the main focus of these contributions is the fundamental importance of the collaboration/agreement dimension of VMI.

VMI impacts three main processes of the SCOR model proposed by the Supply Chain Council (2008). Here, VMI is defined as 'a concept for planning and control of inventory, in which the supplier has access to the customer's inventory data and is responsible for maintaining the inventory level required by the customer. Re-supply is performed by the vendor through regularly scheduled reviews of the on-site inventory.

The supplier takes responsibility for the operational management of the inventory within a mutually agreed framework of performance targets, which are constantly monitored and updated to create an environment of continuous improvement'.

For the VICS Association (VICS 2004), VMI is a scenario for implementing CPFR where the supplier is responsible for all steps in the replenishment process.

Several trade associations also propose XML standards for collaborative processes between industrial partners (GS1, ODETTE and Rosetta Net). All agree that with VMI processes, the supplier has access to the customer's inventory data. The supplier is responsible for generating purchase orders and maintaining the customer's inventory levels between the agreed minimum and maximum levels. ROSETTANET (2002) suggests various implementation processes: 'Specific quantities of minimum and maximum inventory target levels are communicated with each order forecast or, alternatively, may be predefined by the two trading partners and periodically reviewed for modification during the contract period.' Similarly, ODETTE (2004) distinguishes between cases where the customer validates a proposition made by its suppliers (CMI) and cases where the supplier is fully autonomous (VMI). It also proposes formulas for dynamically defining these inventory levels.

#### 4. Proposed VMI macro-process

##### 4.1. The macro-process

In summary, it appears that the literature examining VMI covers a very broad range, and that there is a lack of consensus about the definition of the VMI model or process. On the one hand, academic papers have developed a large quantity of mathematical models for different chains and contexts for the operational replenishment decision. On the other hand, the feedback from real applications underlines the key role of tactical and/or strategic collaboration between the partners.

We therefore propose a VMI macro-process that takes this twofold vision into account. Even if the literature usually examines VMI in a distribution context, the model proposed here is more general and allows industrial partnering to be represented.

Based on the literature review, a VMI concept can be summarised as follows: 'VMI is a replenishment pull system where the supplier is responsible for the customer's inventory replenishment, inside a collaborative pre-established medium/long-term scope'.

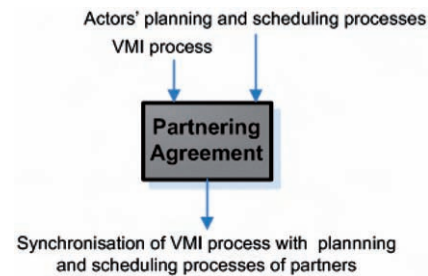


Figure 2. Partnering Agreement.

The transition from the traditional supplier–customer push relationship to a pull relationship is due to two main transformations:

- there is no longer a purchase order from customer's medium-term processes, but a short-term information about the consumption of the inventory;
- the supplier's Material Requirement Planning (MRP) function no longer issues a work order, only a target level for the supplier's inventory.

However, VMI represents more than this pull version of the traditional supplier–customer relationship. The concept states that it may lead to a situation where the partners collaborate. Thus VMI has to introduce information sharing and common decision-making processes.

Three processes can be defined in this VMI process:

- The Partnering Agreement (PA): specifies integration of the partners' planning processes into a VMI replenishment planning process;
- The Logistical Agreement (LA): sets the parameters used to regulate management of each article (minimum/maximum inventory level, minimum delivery quantity, transport schedule, etc.) (Gröning and Holma 2007);
- The Production and Dispatch process: monitors short-term pull decisions such as production dispatch and transport.

##### 4.2. Partnering Agreement

The PA process (Figure 2) sets out the whole collaboration process. It synchronises the VMI process with each actors' planning and scheduling processes.

Many unknowns remain in terms of specifying the link when modelling the relationship. The links are created, but they have to be defined clearly. Table 2 summarises the different questions that have to be

Table 2. Examples of link specifications for the partnering processes.

Link	Associated question (s)/choice (s)
Type of VMI	Which type of Production and Dispatch process?
Periodicity of the LA	Which timescale?
Gross requirement expression	Which period of validity for the parameters defined by the LA? Are the supplier and customer planning processes synchronised? Where are the shared gross requirements defined?
Shared forecast	What is shared? What is the timescale? Which period of time?
Minimum/Maximum customer inventory level	How is it expressed: in pieces, in days?
Stock information	How is it expressed: in levels, in consumption? Periodicity: real-time, hour, day, week, etc.
Agreed minimal transport characteristic	What is defined: minimal lot size, minimal delivery frequency?

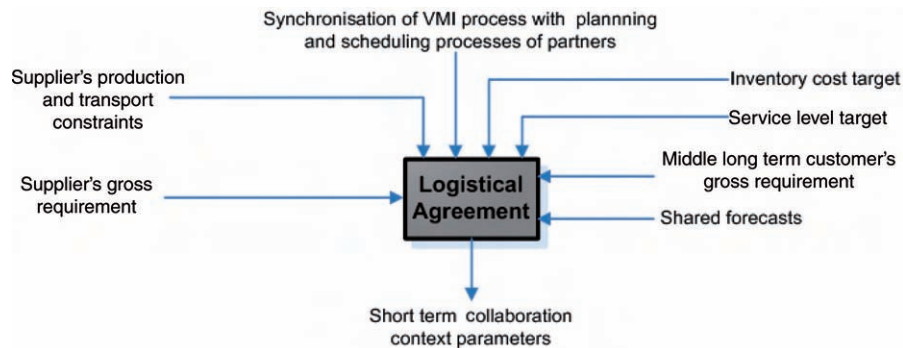


Figure 3. Logistical agreement.

answered in order to integrate the VMI process into a given collaboration process.

#### 4.3. Logistical Agreement

Furthermore, trade associations and case studies stress the importance of the tactical-strategic minimum/maximum agreement. We therefore define an LA that sets these parameters, which regulate the management of each article (minimum/maximum inventory level, minimum delivery quantity, transport schedule, etc.; Gröning and Holma 2007). This allows each partner's constraints and requirements to be compared within a fixed collaborative protocol. The aim is to achieve convergent logistical parameters, which define and constrain the short-term decisions in the Production and Dispatch process.

The LA is specific to any one article. It is part of the medium/long-term decision-making process. Both supplier and customer transmit their own constraints. The customer has to ensure a minimum consumer service level and seeks to minimise inventory holding costs accordingly. The supplier, however, also has constraints, production lead times and transport

capacities (lead time, frequency, lot size, etc.). They have to mutually agree on objectives and constraints for the short-term replenishment and dispatch decision-making (Figure 3).

Finally, they agree minimum and maximum customer inventory levels and transport characteristics for a pre-determined period. In order to reach the agreement, a common plan is built around shared information concerning the customer's component requirement plans and the supplier's delivery plans. Each partner includes its constraints in this plan. Two situations have been distinguished in the literature:

- either, one of the actors, usually the customer, dominates the partnership and imposes its constraints. Consequently, minima and maxima are a direct expression of these constraints. For example in Disney and Towill (2002b), the customer calculates the re-order point then passes it to the supplier;
- or, in the well-balanced partnership case the negotiation is defined by an exchange of viewpoints. It is a true collaboration in terms



of building a plan. Dudek and Stadtler (2005) propose a process of information exchanges helping to achieve convergence between each partner's points of view.

Another important choice concerns the means used to express the targeted minimum and maximum customer inventory levels. Two different situations are described in the literature: the target is expressed in pieces or in days of stock. The choice is made according to the global industrial context and product characteristics (demand visibility, variability, nature of the product, etc.).

Furthermore, both supplier and customer can have different frequencies for their planning processes. In many industrial contexts, production and product constraints create dissimilarity between supplier and customer timescales. In this case they have to determine the appropriate LA frequency.

#### 4.4. The Production and Dispatch process

The Production and Dispatch process monitors short-term pull decisions such as production, dispatch and transport. Figures 4 and 5 distinguish between two short-term implementations according to whether production and dispatch decisions are integrated or not. These two visions are linked to the two cases we found in the literature. According to some authors, VMI has an impact on both the customer's production and dispatch decisions. Others maintain that VMI is only replenishment or a dispatch decision. The two processes are respectively called Integrated VMI and Dispatch VMI, which differ in terms of the propagation of demand uncertainty through the supply chain.

Moreover, customer demand is a fixed real quantity without VMI. With VMI, the supplier monitors the replenishment of the customer's inventory using the level of this inventory and the minimum and maximum level established by the LA. So, the dispatch process computes the net requirement expressed as an interval between a minimal and a maximal for each customer.

As far as Integrated VMI is concerned, the uncertainty is transmitted throughout the chain, first in the dispatch process then in the production process. A global short-term production and replenishment plan is made by the supplier when comparing this interval with its production constraints.

With the Dispatch VMI, the impact is less severe in terms of modifications. The choice is made within the dispatch process. The interval is transformed into a scalar at this point, independent of the production constraints. No uncertainty is transmitted to other processes.

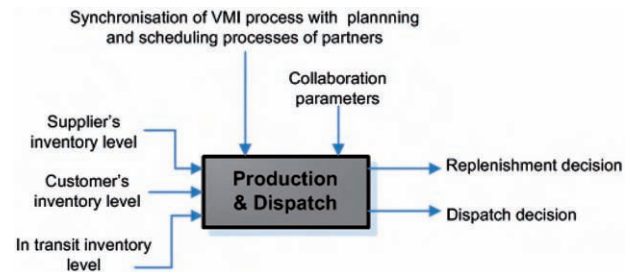


Figure 4. Production and Dispatch process in Integrated VMI.

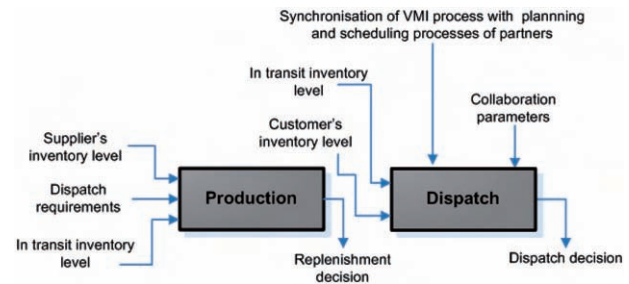


Figure 5. Production and Dispatch process in Dispatch VMI.

#### 4.5. Synthesis of the VMI process

Figure 6 represents the links between the three main VMI processes. We find the different levels of decision and the distinction between the two short-term implementations, depending on whether production and dispatch decisions are integrated or not.

### 5. Conclusions and future research works

In this article we have presented an analysis of the literature on VMI. We have classified the literature into three categories: general papers, modelling papers and case studies.

In our review we first identified the concepts, objectives and decision levers considered to be associated with VMI. This enables us to propose a unified view of VMI via three main processes (PA, LA and Production and Dispatch). We emphasise the degrees of freedom available to the supplier and distinguish two types of VMI: Dispatch VMI, centred only on delivery decisions, and Integrated VMI, integrating both production and delivery decisions. All in all, most of the modelling papers look at the operational dimension of VMI: the tangible aspect proposed by Brindley (2004) and cited in the introduction. In other words, they study different implementations of the Production and Dispatch process. Case studies, on the other hand, pay particular attention to the collaborative aspect of VMI. The industrial viewpoint is mainly

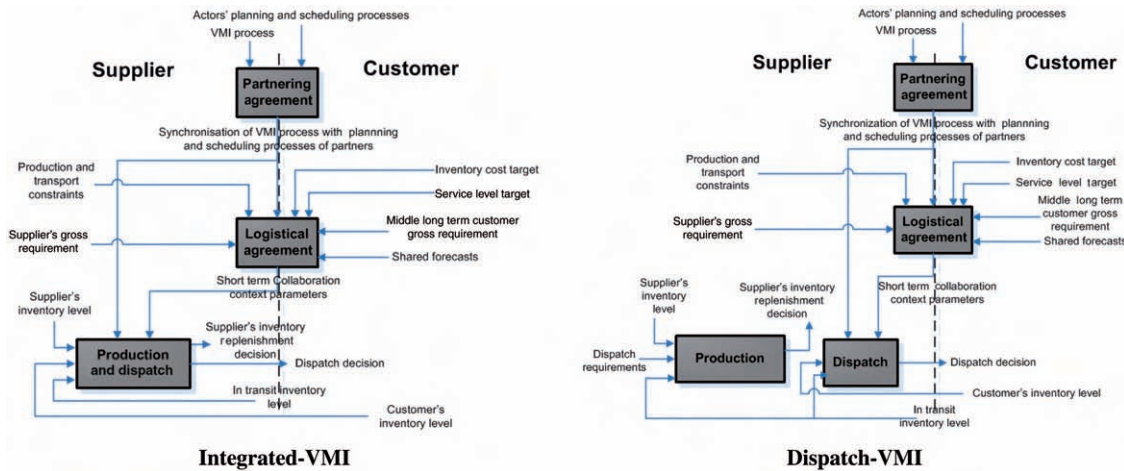


Figure 6. VMI macro-processes.

focused on the intangible and behavioural dimensions of VMI, i.e. the LA.

With the exception of Elvander *et al.* (2007), who propose a framework to characterise the different forms of VMI, few articles address the problem of modelling VMI by taking into account these two aspects, the operational and the collaborative. In order to define the collaboration, managers have to integrate different sources of uncertainties: evolution of the context or market, local partner behaviour, information exchange processes, etc. Our final objective is therefore to simulate the twofold dimension of VMI processes in a supply chain, and to compare their effects with traditional collaboration processes. The objective is to understand the positive and negative impacts of VMI and to identify favourable contexts.

#### Notes on contributors



Guillaume Marquès is a PhD student at the University of Toulouse/Mines Albi. He is a young Logistics Engineer. His works mainly focus on the risks management for SCM through a simulation approach. During his master degree he worked on project management and particularly the link with decision support systems and multi-criteria performance assessment.



Caroline Thierry is an Associate Professor at the University of Toulouse. Her research in ONERA (French Aerospace Lab) then, since 2007, in IRIT (Institut de Recherche en Informatique de Toulouse) mostly focuses on models and decision systems in SCM.



Jacques Lamothe is an Associate Professor at the Industrial Engineering Department of the Ecole des Mines Albi in the Toulouse University. He obtained his PhD in production management in 1996. His research mainly concerns the design of supply chains and the evaluation of cooperative processes.



Didier Gourc, PhD, is currently an Assistant Professor at the Ecole des Mines d'Albi-Carmaux where he teaches Project Management. He has a PhD from the University of Tours and he has gained industrial experiences in software development, project management and consultancy on diagnostic of production process and project management organisation since 1992. His current research interests include project management, project risk management, portfolio management and project selection. He develops his research specially in relation with pharmaceutical industry.

#### References

- Achabal, D.D., *et al.*, 2000. A decision support system for vendor managed inventory. *Journal of Retailing*, 76 (4), 430–454.
- Al-Ameri, T.A., Shah, N., and Papageorgiou, L.G., 2008. Optimization of vendor-managed inventory systems in a rolling horizon framework. *Computers and Industrial Engineering*, 54 (4), 1019–1047.
- Bichescu, B. and Fry, M., 2009. Vendor-managed inventory and the effect of channel power. *OR Spectrum*, 31 (1), 195–228.
- Blatherwick, A., 1998. Vendor-managed inventory: fashion fad or important supply chain strategy? *Supply Chain Management: An International Journal*, 3 (1), 10–11.

- Brindley, C., 2004. *Supply chain risk*. Aldershot, UK: Ashgate Publishing, Ltd.
- Cachon, G.P., 2004. The allocation of inventory risk in a supply chain: push, pull, and advance-purchase discount contracts. *Management Science*, 50 (2), 222–238.
- Cai, J.H., Wang, H.H., and Zhou, G.G., 2008. Study on a two-echelon supply chain VMI model under demand uncertainty. *Proceedings of the international symposium on electronic commerce and security*, 148–152.
- Cetinkaya, S. and Lee, C.Y., 2000. Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems. *Management Science*, 46 (2), 217–232.
- Cigolini, R. and Rossi, T., 2006. A note on supply risk and inventory outsourcing. *Production Planning and Control*, 17 (4), 424–437.
- Claassen, M.J.T., Van Weele, A.J., and Van Raaij, E.M., 2008. Performance outcomes and success factors of vendor managed inventory (VMI). *Supply Chain Management: An International Journal*, 13 (6), 406–414.
- Clark, T.H. and Hammond, J.H., 1997. Reengineering channel reordering processes to improve total supply-chain performance. *Production and Operations Management*, 6 (3), 248–265.
- De Toni, A.F. and Zamolo, E., 2005. From a traditional replenishment system to vendor-managed inventory: a case study from the household electrical appliances sector. *International Journal of Production Economics*, 96 (1), 63–79.
- Deakins, E., Dorling, K., and Scott, J., 2008. Determinants of successful vendor managed inventory practice in oligopoly industries. *International Journal of Integrated Supply Management*, 4 (3/4), 355–377.
- Disney, S.M., Naim, M.M., and Potter, A., 2004. Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics. *International Journal of Production Economics*, 89 (2), 109–118.
- Disney, S.M. and Towill, D.R., 2002a. A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain. *International Journal of Production Research*, 40 (1), 179–204.
- Disney, S.M. and Towill, D.R., 2002b. A procedure for the optimization of the dynamic response of a vendor managed inventory system. *Computers and Industrial Engineering*, 43 (1–2), 27–58.
- Disney, S.M. and Towill, D.R., 2003. The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85 (2), 199–215.
- Dong, Y. and Xu, K., 2002. A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38 (2), 75–95.
- Dong, Y., Xu, K., and Dresner, M., 2007. Environmental determinants of VMI adoption: an exploratory analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (4), 355–369.
- Dudek, G. and Stadtler, H., 2005. Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners. *European Journal of Operational Research*, 163 (3), 668–687.
- Elvander, M.S., Sarpola, S., and Mattsson, S.-A., 2007. Framework for characterizing the design of VMI systems. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 37 (10), 782–798.
- Fry, M.J., Kapuscinski, R., and Olsen, T.L., 2001. Coordinating production and delivery under a (z, Z)-type vendor-managed inventory contract. *Manufacturing and Service Operations Management*, 3 (2), 151–173.
- Gentine, P., 2002. La gestion partagée des approvisionnements peut-elle être créatrice de valeur? *Accenture*. Available from: <http://www.accenture.com/NR/rdonlyres/5E043862-EC58-4196-95CC-9977A34ACE3E/0/pcmgspai.pdf>
- Gronalt, M. and Rauch, P., 2008. Vendor managed inventory in wood processing industries—a case study. *Silva Fennica*, 42 (1), 101–114.
- Gröning, A. and Holma, H., 2007. *Vendor managed inventory: preparation for an implementation of a pilot project and guidance for an upcoming evaluation at Volvo Trucks in Umea*. Master's thesis. Lulea University of Technology.
- Gümüş, M., Jewkes, E.M., and Bookbinder, J.H., 2008. Impact of consignment inventory and vendor-managed inventory for a two-party supply chain. *International Journal of Production Economics*, 113 (2), 502–517.
- Henningsson, E. and Lindén, T., 2005. *Vendor managed inventory: enlightening benefits and negative effects of VMI for Ikea and its suppliers*. Master's thesis. Lulea University of Technology.
- Holmström, J., 1998. Business process innovation in the supply chain – a case study of implementing vendor managed inventory. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 4 (2–3), 127–131.
- Holweg, M., et al., 2005. Supply chain collaboration: making sense of the strategy continuum. *European Management Journal*, 23 (2), 170–181.
- Ireland, R. and Crum, C., 2005. *Supply chain collaboration: how to implement CPFR and other best collaborative practices*. Boca Raton, FL: J. Ross Publishing.
- Jiang-hua, W. and Xin, Z., 2007. The value of centralization in a vendor-managed inventory system. *14th international conference on management science and engineering ICMSE*, Beijing, 704–710.
- Kaipia, R., Holmström, J., and Tanskanen, K., 2002. VMI: what are you losing if you let your customer place orders? *Production Planning and Control*, 13 (1), 17–25.
- Kaipia, R. and Tanskanen, K., 2003. Vendor managed category management—an outsourcing solution in retailing. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9 (4), 165–175.
- Kauremaa, J., Småros, J., and Holmström, J., 2007. Empirical evaluation of VMI: two ways to benefit. *Proceedings of NOFOMA 2007*. Available from: [http://www.tuta.hut.fi/logistics/publications/NOFOMA\\_2007\\_Empirical\\_evaluation\\_of\\_VMI.pdf](http://www.tuta.hut.fi/logistics/publications/NOFOMA_2007_Empirical_evaluation_of_VMI.pdf)



- Kuk, G., 2004. Effectiveness of vendor-managed inventory in the electronics industry: determinants and outcomes. *Information and Management*, 41 (5), 645–654.
- Lee, H.L., So, K.C., and Tang, C.S., 2000. The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science*, 46 (5), 626–643.
- Liu, J., Lu, Q., and Shi, K., 2008. Improving and evaluating various models with vendor-managed inventory. *4th IEEE international conference on management of innovation and technology ICMIT*, 1395–1400.
- Meixell, M.J. and Gargeya, V.B., 2005. Global supply chain design: a literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41 (6), 531–550.
- Mishra, B.K. and Raghunathan, S., 2004. Retailer- vs. vendor-managed inventory and brand competition. *Management Science*, 50 (4), 445–457.
- Nachiappan, S.P., Gunasekaran, A., and Jawahar, N., 2007. Knowledge management system for operating parameters in two-echelon VMI supply chains. *International Journal of Production Research*, 45 (11), 2479–2505.
- Nachiappan, S.P. and Jawahar, N., 2007. A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research*, 182 (3), 1433–1452.
- Nagarajan, M. and Rajagopalan, S., 2008. Contracting under vendor managed inventory systems using holding cost subsidies. *Production and Operations Management*, 17 (2), 200–210.
- ODETTE, 2004. *Vendor managed inventory (VMI)*. Version 1.0.
- ROSETTANET, 2002. *RosettaNet collaborative forecasting process scenarios: RosettaNet collaborative forecasting-Phase (2) milestone program*.
- Rusdiansyah, A. and Tsao, D-B., 2005. Coordinating deliveries and inventories for a supply chain under vendor managed inventory system. *JSME International Journal, Series A, Solid Mechanics and Material Engineering*, 48 (2), 85–90.
- Sari, K., 2008. On the benefits of CPFR and VMI: a comparative simulation study. *International Journal of Production Economics*, 113 (2), 575–586.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., and Simchi-Levi, E., 2000. *Managing the supply chain: the definitive guide for the business professional*. New York: McGraw-Hill.
- Smáros, J., et al., 2003. The impact of increasing demand visibility on production and inventory control efficiency. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 33 (4), 336–354.
- Song, D.-P. and Dinwoodie, J., 2008. Quantifying the effectiveness of VMI and integrated inventory management in a supply chain with uncertain lead-times and uncertain demands. *Production Planning and Control*, 19 (6), 590–600.
- Southard, P.B. and Swenseth, S.R., 2008. Evaluating vendor-managed inventory (VMI) in non-traditional environments using simulation. *International Journal of Production Economics*, 116 (2), 275–287.
- Supply Chain Council, 2008. *SCOR: Supply Chain Operations Reference Model*. Version 9.0.
- Tang, C.S., 2006. Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103 (2), 451–488.
- Tyan, J. and Wee, H.M., 2003. Vendor managed inventory: a survey of the Taiwanese grocery industry. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9 (1), 11–18.
- VICS, 2004. *Collaborative planning, forecasting and replenishment (CPFR®)*. Available from: [http://www.vics.org/standards/CPFR\\_Overview\\_US-A4.pdf](http://www.vics.org/standards/CPFR_Overview_US-A4.pdf)
- Vigtil, A., 2007a. *A framework for modelling of vendor managed inventory*. PhD thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- Vigtil, A., 2007b. Information exchange in vendor managed inventory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 37 (2), 131–147.
- Vigtil, A. and Dreyer, H., 2008. Critical aspects of information and communication technology in vendor managed inventory. *Lean Business Systems and Beyond, IFIP International Federation for Information Processing*. Vol. 257, Boston, MA: Springer, 443–451.
- Waller, M., Johnson, M.E., and Davis, T., 1999. Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of Business Logistics*, 20, 183–204.
- Wilson, M.C., 2007. The impact of transportation disruptions on supply chain performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (4), 295–320.
- Wong, W.K., Qi, J., and Leung, S.Y.S., 2009. Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory. *International Journal of Production Economics*, 120 (1), 151–161.
- Yao, Y., Dong, Y., and Dresner, M., 2007a. Analyzing information-enabled stockout management under vendor-managed inventory. *Information Technology and Management*, 8 (2), 133–145.
- Yao, Y. and Dresner, M., 2008. The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44 (3), 361–378.
- Yao, Y., Evers, P.T., and Dresner, M.E., 2007b. Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision Support Systems*, 43 (2), 663–674.
- Yu, H. and Liu, L., 2008. Replenishment and dispatch policies with transportation capacity for VMI system. *International Conference on Service Systems and Service Management*, Melbourne, 1–5.
- Yu, Y., Chu, F., and Chen, H., 2009. A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor. *European Journal of Operational Research*, 192 (3), 929–948.



- Zavanella, L. and Zanoni, S., 2009. A one-vendor multi-buyer integrated production-inventory model: the consignment stock case. *International Journal of Production Economics*, 118 (1), 225–232.
- Zhao, Q-H. and Cheng, T.C.E., 2009. An analytical study of the modification ability of distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 194 (3), 901–910.
- Zhu, Z.T. and Peng, W.Y., 2008. Simulation research on the stock control strategy of VMI combined revenue sharing. *International Symposiums on Information Processing (ISIP)*, 657–661.

## Appendix. Utilisation rate of expressions to qualify VMI in the literature

[illegible]



## Annexe 2 DESCRIPTION PROJETS SMA (CADRE DE MODELISATION)

### Projet SCMA (Supply Chain Modeling and Analysis)

Le projet Supply Chain Modeling and Analysis (SCMA) a été développé par l'ICLL (Intelligent Coordination and Logistics Laboratory) de la Carnegie Mellon University aux Etats-Unis. Pour (Swaminathan *et al.*, 1998), les chaînes logistiques doivent faire face à de nombreuses incertitudes et il devient essentiel pour les décideurs d'être capable d'analyser les risques et d'adapter les processus de la chaîne en conséquent. Ils partent du constat que les outils de modélisation et de simulation semblent les plus appropriés pour aider à explorer un grand nombre d'alternatives mais souffrent de problèmes majeurs : leur développement peut nécessiter beaucoup de temps et ils sont souvent assez spécifiques, ce qui en limite la réutilisation. Leur objectif était donc de développer un cadre de modélisation de chaînes logistiques réutilisable et rapide à mettre en œuvre. Ce cadre repose sur une bibliothèque d'éléments génériques basée sur la différenciation de deux familles de processus partagées par la majorité des chaînes logistiques : les éléments structuraux, utilisés pour modéliser la production et le transport de produits (magasins, centres de distribution, unités de production, fournisseur, transports) et les éléments de contrôle, utilisés pour spécifier les comportements dans le contrôle des flux de produits au travers de la chaîne (information sur la demande, approvisionnement, flux de matière).

Ce cadre de modélisation à base d'agents associé à un outil de simulation traite de manière générale de « supply chain reengineering » que les auteurs découpent en trois problématiques. Les agents peuvent s'échanger trois types de messages : relatifs au flux physique (livraisons entre agents), au flux d'information (demande, capacité prévue disponible, prévisions, date de livraisons prévues ainsi que des messages d'annulation ou de modification), et au flux financier (messages de paiement). La bibliothèque d'agents est donnée dans le tableau ci-dessous.

Etant composé d'agents génériques aux comportements variés, ce projet présente beaucoup de perspectives. Néanmoins, nous manquons aujourd'hui de cas d'applications et de détails sur l'implémentation de ceux-ci. Seul (Swaminathan *et al.*, 1998) fait référence à une utilisation industrielle par la société IBM sans en quantifier toutefois les retombées. Ce projet est à mettre en relation avec des recherches menées jusqu'au milieu des années 90 par IBM sur la modélisation et la simulation des processus (Business Process Modeling and Simulation) qui s'est appuyée sur l'outil SimProcess (Feigin *et al.*, 1996; Ettl *et al.*, 2000). Ces approches de simulation sont souvent couplées à une utilisation de modèle d'optimisation pour traduire certains comportements locaux.

Catégorie	Type d'agent	Elément	Rôle	Comportement
Structural	Production	Retailer (R)	Lieu où le consommateur achète le produit. L'objectif est de réduire le délai de réponse à une commande client et de minimiser les ruptures. Il reçoit ses produits d'un centre de distribution ou directement d'une unité de production.	Reçoit les commandes. Vérifie disponibilité au stock. Livre la commande si produit disponible et le place sur liste d'attente le cas contraire. Soit un comportement de priorisation est défini, soit la logique FIFO est utilisée. Applique des stratégies marketing.
		Distribution Center (DC)	Reçoit des produits finis d'unités de production et livre des magasins. L'objectif est réduire le niveau de stock et maximiser le flux de livraisons. Deux types distingués : classique ou cross-dock	Après réception produits, 2 choix : stockage en attente de commande ou cross-docking. La commande attend jusqu'à présence du produit en stock. Si cross-dock, pas de stockage, juste une répartition dans véhicule de transport.
		Manufacturing Plant (MP)	Production et assemblage. Reçoit des commandes de DC ou de R. L'objectif d'efficacité du processus de production et optimisation de la gestion des stocks. Les produits sont associés à des nomenclatures.	2 types de mécanisme : push or pull production. En pull, la production est déclenchée à réception d'une commande. En push, elle est déclenchée sur la base de prévisions de la demande

Catégorie	Type d'agent	Elément	Rôle	Comportement
		External Supplier	Producteur, assembleur,... il ne fait pas parti du groupe. Il fournit des matières ou composants aux unités de production. L'objectif est focalisé sur le temps d'exécution et les stocks.	Fortement contraints par les contrats établis avec ses clients (arrangements sur a flexibilité, coûts et informations partagés)
	Transport	Transportation Vehicles	Transporter les produits d'un agent à un autre. Caractérisé en terme de capacité et de vitesse.	Contrôlé par les éléments de contrôle de type flux (flow) pour tout ce qui est chargement, déchargement et établissement des routes utilisées (fonction de la distance, de la date de besoin). L'établissement de la route permet de définir une durée au bout de laquelle le produit est déchargé chez l'agent de production récepteur
Control	Inventory control	Centralized control	Gestion du stock des références de produits	Contrôle du stock d'un produit qui tient compte des niveaux de stock dans toute la chaîne
		Decentralized control	Gestion du stock des références de produits	Contrôle du stock d'un produit qui tient compte des niveaux de stock dans une seule entité de la chaîne. Plusieurs types de gestion : (Q,R), (s,S) ou MRP (besoin d'appro calculé à partir de l'explosion du calcul des besoins)
	Demand control	Marketing Element	Gestion des leviers d'augmentation de la demande. Mécanisme d'ajout de demandes pour un produit. S'applique uniquement à l'agent Retailer	Plusieurs types d'augmentations : aléatoire, saisonnière ou permanente.
		Forecast Element	Détermine comment les prévisions sont générées dans la chaîne et comment elles évoluent dans le temps	
	Supply Control	Contracts	Dictent les termes et les conditions de livraisons lorsqu'une commande a été passée.	Contient des informations sur : le prix des pièces, la durée du contrat, un volume global d'achat sur la période du contrat, les pénalités, le délai de réception de produit après passage de la commande, le degré de flexibilité du fournisseur en terme d'acceptation de variations des prévisions dans le temps et les types d'information de contrôle (voir ci-dessous)
	Flow Control	Loading Element	Contrôle de la manière avec laquelle l'agent de transport charge et décharge	Dépend du type de l'élément de production sur lequel il s'applique. Par exemple, pour un DC, il peut être classique ou cross-dock
		Routing Element	Contrôle de l'ordre avec lequel les produits sont livrés par l'agent de transport. Détermine la durée du transport	Deux moyens de le calculer : centralisé ou décentralisé
	Information Control	Directly accessible	Propagation de l'information	Propagation instantanée (niveaux de stock, capacité allouée, pannes machines,...)
		Periodic	Propagation de l'information	Propagation à l'ensemble de la chaîne sous forme de messages (changement de stratégie, augmentation de sprix, nouveau service, changement dans le produit, nouveau produit,...)

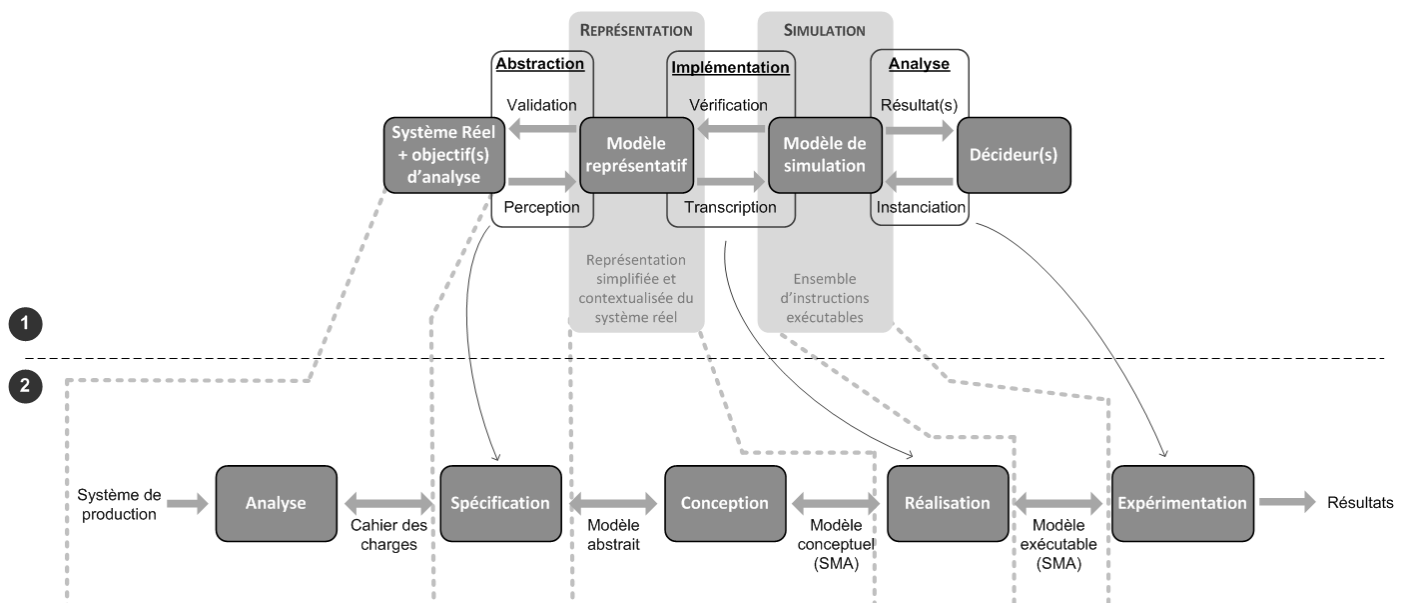
Projet M<sub>A</sub>MA-S (Multi-agent methodological approach for the simulation of industrial systems)

(Galland, 2001; Galland *et al.*, 2003, 2005) proposent une méthodologie permettant la définition, la réalisation puis l'expérimentation d'un modèle de simulation de systèmes distribués (M<sub>A</sub>MA-S Multi-agent methodological approach for the simulation of industrial systems). L'originalité se situe dans l'utilisation

d'outils de modélisation d'entreprise pour construire le modèle conceptuel (ou représentatif pour nous). Les différentes étapes de cette méthodologie sont les suivantes :

- Analyse : informations qui semblent nécessaires à la mise en œuvre du processus de simulation, de la description des processus physique et de pilotage à la spécification des objectifs de la démarche et des indicateurs de performance permettant d'évaluer les résultats de simulation avec les objectifs. Il en résulte un cahier des charges ;
- Spécification : l'objectif est de produire un modèle abstrait du système industriel à simuler, sorte de traduction des informations du cahier des charges en un modèle formel (en sortie, un modèle qualifié d'abstrait est obtenu) ;
- Conception ou design : création d'un modèle informatique (appelé conceptuel). L'objectif est de décrire de manière plus précise le modèle issu de la spécification (modèle abstrait), mais le modèle ne doit pas rentrer dans la question de l'implémentation physique dans une infrastructure d'exécution. Il s'agit de réaliser un modèle indépendant de tout outil ou de toute plate-forme ;
- Réalisation : l'implantation du modèle issu de la conception sur une plateforme informatique particulière ;
- Test ou expérimentation : l'objectif est de trouver un ensemble raisonnablement petit de tests qui permette d'approximer l'information que donnerait un test exhaustif lui même impossible. Deux types de tests sont différenciés, les tests de construction et d'acceptation respectivement liés aux notions de vérification (« le modèle de simulation produit bien les résultats attendus ») et de validation (« résultats proposés par le modèle sont compatibles et cohérents avec ceux proposés par le système réel »).

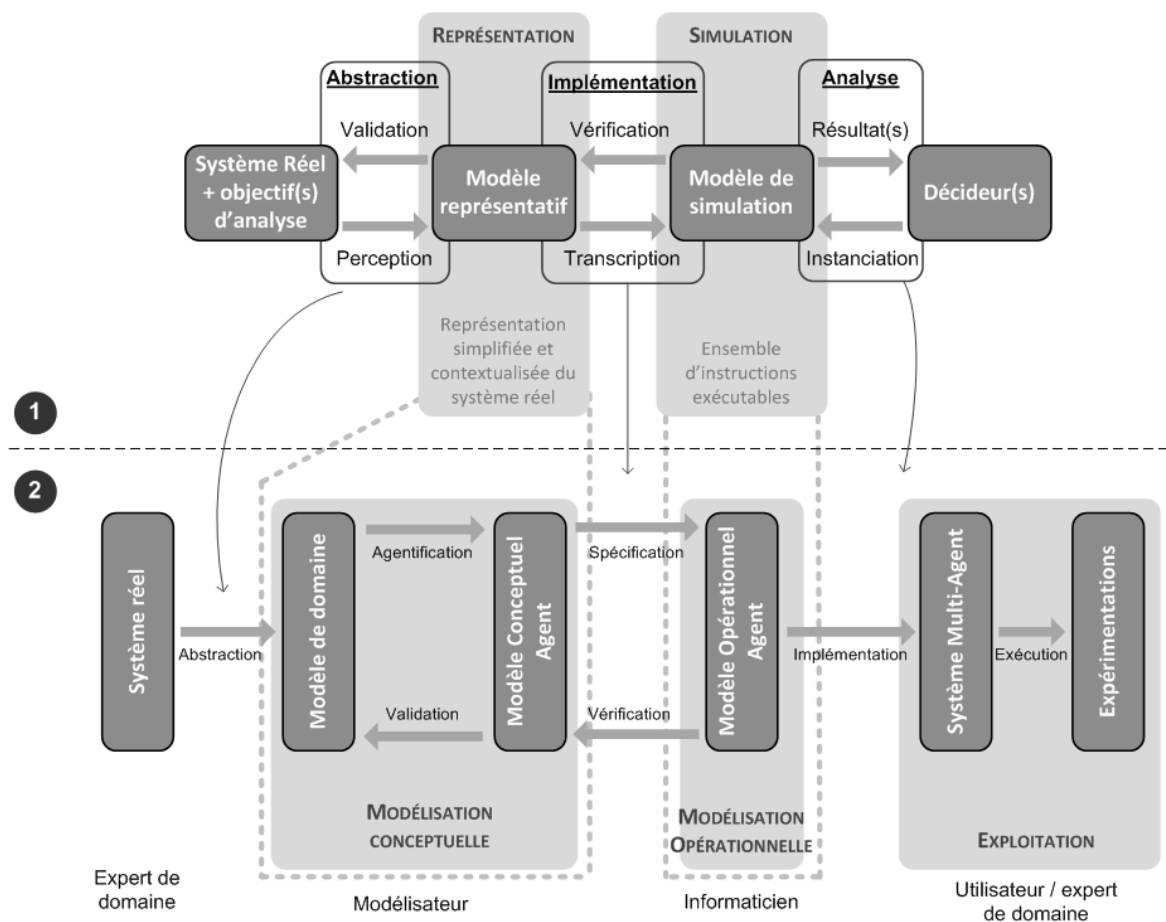
La partie 2 de la Figure A.1 illustre le déroulement de cette démarche. La partie 1 reprend notre démarche définie au chapitre 2 (figure 3.4). Cette figure permet de réaliser la comparaison entre la méthodologie agent proposée par Galland à celle que nous proposons dans cette étude. Elles sont globalement équivalentes, la proposition de Galland focalisant sur l'intérêt de techniques de modélisation d'entreprise pour construire un modèle représentatif en deux étapes : d'abord un modèle abstrait puis un modèle agents.



**Figure A.1 : Projection du cadre méthodologique agent de (Galland, 2001) sur la démarche de modélisation proposée**

Projet Labarthe *et al.*

Sur la base des travaux de (Drogoul *et al.*, 2003), (Labarthe *et al.*, 2005) puis (Labarthe *et al.*, 2007) ont proposé un « cadre méthodologique agent pour la modélisation et la simulation des chaînes logistiques » dont le principe est donné par la Figure A.2 (partie 2). Cette figure permet de projeter cette méthodologie dans celle que nous avons proposée plus haut pour décrire une démarche de simulation (partie 1). Les modélisations conceptuelle et opérationnelle de Labarthe *et al.* correspondent respectivement aux constructions de nos modèles représentatif et de simulation. La phase d'exploitation correspond à notre phase d'analyse. Cette méthodologie met en valeur le fait que l'homme d'étude peut avoir recours à un ou des modèles intermédiaires pour construire le modèle représentatif. Ici, il peut s'agir de tout modèle (« modèle de domaine ») qui ne respecte pas, à ce stade, le formalisme ni les hypothèses d'une modélisation à base d'agents mais qui permette de décrire les composants de la chaîne et la nature de leurs interactions. Il peut, par exemple, s'agir du modèle abstrait de (Galland, 2001) que nous venons de présenter. Le modèle conceptuel agent permet la représentation de la dynamique du système au travers des actions et des comportements de ses entités inter-reliées (Labarthe *et al.*, 2005). Les structures et architecture possibles du modèle opérationnel agent seront abordées dans la partie relative au modèle de simulation.



**Figure A.2 : Projection du cadre méthodologique agent de (Labarthe *et al.*, 2007) sur la démarche de modélisation proposée**

## Annexe 3 DESCRIPTION DES PROJETS SMA (PROBLEMATIQUES SPECIFIQUES)

### Projet 1: ISCM (Integrated Supply Chain Management):

Ce projet a été développé au sein du laboratoire EIL de l'université de Toronto. Il porte sur la problématique de coordination de la chaîne logistique au niveaux tactique et opérationnel. La chaîne évolue dans un environnement dynamique marqué par un certain nombre d'événements : pannes, problème d'approvisionnement, changement de la demande,... Ces événements entraînent des changements dans les planifications opérés au niveau tactique et opérationnel. Les changements peuvent être traités en « interne » (interne à une fonction), ou nécessiter une révision des plans plus générale impliquant plusieurs fonctions (« not locally contained »). Dans ce cas, le processus de révision doit être coordonné pouvant donner lieu à des négociations. Le modèle repose donc sur des agents représentant certaines fonctions des niveaux tactique et opérationnel d'une chaîne. Il a donné lieu à la création d'un langage de coordination, COOL (COOrdination Language) pour représenter les conversations entre agents (envoi de messages, négociation).

Dans (Barbuceanu *et al.*, 1997), (Teigen, 1997) et (Fox *et al.*, 2000), les auteurs utilisent ce modèle pour étudier l'effet de pannes sur les niveaux de stocks et de satisfaction client pour une chaîne logistique à capacité fixe. Des agents de planifications permettent d'établir les plans de production et gérer les stocks de produits finis et de composants. Deux mécanismes de coordination sont testés : une replanification interne à l'acteur touché par la panne ou la transmission de l'état de capacité de l'acteur aux autres membres de la chaîne. Ils mettent ainsi en valeur le rôle de la transmission de l'information dans la chaîne.

### Projet 2: MASCOT (Multi-Agent Supply cOordination Tool)

Ce projet a été développé par l'ICLL (Intelligent Coordination and Logistics Laboratory) de la Carnegie Mellon University aux Etats-Unis. (Sadeh *et al.*, 1999, 2001) introduisent un support d'aide à la décision à partir d'un modèle à base d'agents pour piloter les coordinations au sein d'une chaîne logistique. Deux niveaux de décision sont différenciés : un niveau haut (« higher level agents »), agents responsables de la planification tactique ou stratégique, relative à un horizon long et au management de plusieurs usines, et un niveau bas (« lower level agents »), agents responsables de la planification et de l'ordonnancement court terme d'une seule usine.

De manière générale, ce modèle (basé sur une logique de blackboard) est centré sur les horizons stratégiques et tactiques. Il permet de traiter la problématique de planification et d'ordonnancement par coordination. Cette coordination se fait de manière verticale pour assurer, d'une part, que l'ordonnancement court terme respecte les allocations de capacités décidées à moyen terme (sens haut-bas), et d'autre part, faire remonter les informations de disponibilités pour que le niveau haut réponde aux sollicitations en terme d'engagement de production et de livraison vis à vis d'un client (Available-To-Promise). La coordination est également horizontale puisque les agents de même niveau peuvent s'échanger des messages afin de piloter leurs actions. A court terme, cela signifie, par exemple, l'échange d'information de mise à jour de dates de livraison. A long terme, cela signifie, par exemple, la répercussion des demandes en composants relatives aux besoins de productions dans un sens et la faisabilité de cette demande par le fournisseur (Capacity-To-Promise).

### Projet 3 :

(Strader *et al.*, 1998) ont utilisé la plate-forme de simulation multi-agent SWARM pour s'intéresser au problème du partage d'information et du choix de la stratégie de production (MTO, ATO, MTS) et leur impact sur le taux de service d'une chaîne logistique (secteur de l'informatique et de l'électronique). Le modèle est constitué d'un contrôleur qui orchestre la simulation, d'un modèle statistique qui génère les données et du modèle à simuler et d'agents acteurs. Ces derniers représentent les entités de la chaîne.



Chacune est modélisée par un agent, lui même composé de huit différents agents : planification de la production, management de la capacité, management du stock,...

Deux principaux types de comportement leur sont associés : le partage ou non de l'information, qui donne lieu à trois choix possibles (pas d'échange, échange d'information sur les approvisionnements ou échange d'information sur les approvisionnements et la demande) et la stratégie de production, qui donne lieu à trois choix possibles également (production à la commande MTO, assemblage à la commande ATO ou production sur stock MTS). Le modèle SWARM semble permettre la représentation de certaines décisions stratégiques telles la planification de la capacité. (Strader *et al.*, 1998) utilise cette fonctionnalité mais ne donne pas de précisions sur la manière dont cette planification s'effectue. Il semble que le plan de capacité soit construit sur la base des commandes reçues et s'adapte aux variations demandées par l'agent de planification de la production..

#### Projet 4 : DASCH (Dynamical Analysis of Supply Chains)

Le projet DASCH a été développé au Center for Electronic Commerce (University of Michigan) sous la direction de H.V.D. Parunak. L'objectif est d'étudier le comportement dynamique de la chaîne sous l'effet de différents comportements de prévision de la demande.

Le modèle de la chaîne comprend trois types d'agents : des agents entreprise (« company agents ») qui représentent les différentes entreprises de la chaîne et qui transforment des matières premières en produits finis avant de les envoyer vers des clients, des agents de planification (« PPIC agents » pour « Production Planning and Control ») pour effectuer un calcul des besoins et planifier les ordres de fabrication en fonction de la demande, et des agents de transmission (« shipping agents ») qui assurent la transmission des informations (« mailer ») et des matières (« shipper »). Les agents de transmissions permettent la représentation des retards et des incertitudes associés aux flux d'informations et matériels.

Les agents de planification sont basés sur un pur calcul des besoins moyen terme. L'originalité réside dans la capacité donnée à un agent de réaliser trois types de prévisions de la demande : détermination d'une loi normale sur la base d'un historique, moyenne pondérée (mobile ?) et prévision transmise par le client. Certains paramètres permettent de régler plus finement chacune de ces méthodes (variance, moyenne, nombre de périodes considérées...). L'algorithme de calcul des besoins est présenté comme « simple » de part l'unique type de nomenclature que le modèle manipule : un type de produit n'est réalisé qu'à partir d'un seul type de composants (coefficient variable). Il prend en compte la notion de stock de sécurité, des délais d'obtentions (produits finis et matières premières), le coefficient de nomenclature et une longueur d'horizon de calcul. La capacité est soit infinie, soit fixée à un certain niveau mais n'évolue pas. Les modèles sont présentés dans (Parunak and Vanderbok, 1998; Parunak *et al.*, 1999).

(Baumgaertel *et al.*, 2003) ont fait évoluer ce modèle pour l'adapter au cas du réseau de la firme Daimler Chrysler qui était à l'origine d'un projet similaire (SNAP pour « Supply Network Agility and Performance »). SNAP a permis de transformer un modèle DASCh linéaire en un modèle d'une chaîne plus complexe où un client peut avoir plusieurs fournisseurs et assembler plusieurs composants pour fabriquer un produit fini et un fournisseur peut avoir plusieurs clients. Ils testent différentes stratégies de construction des prévisions et leur diffusion dans le réseau et mesure les impacts de différents profils de demande (pas de variabilité et accroissement d'un échelon, pas de variabilité et baisse d'un échelon, pas de variabilité et pic ponctuel, stable et faible variabilité, stable et forte variabilité, données réelles) sur la performance de la chaîne (ruptures de stock, retards, taux de service, délais de livraison).

#### Projet 5: ANTS (Agent Network for Task Scheduling)

Le projet ANTS a été développé au Center for Electronic Commerce (University of Michigan) sous la direction de J.A. Sauter. Il se préoccupe de l'ordonnancement et donc la coordination des activités de production au sein de la chaîne.

Le modèle repose sur une décomposition de chaque entité de la chaîne comme une « mini chaîne logistique » (« a miniature supply chain ») faite d'une série de consommateurs et de producteurs. Plusieurs agents sont utilisés pour décrire chacune de ces entités : agent de planification dont le rôle est de négocier les quantités de matières premières et les ressources dont il va avoir besoin pour produire, agent ressource

qui représente les ressources au sens général (machine, opérateurs, énergie, outils,...) caractérisées par un programme de maintenance, une disponibilité et un coût d'utilisation, agent de flux, dont le rôle est de représenter les flux entrant et sortant d'une ressource de production, agents client et fournisseur qui jouent le rôle d'interface entre une unité productrice et ses clients ou ses fournisseurs.

Ce modèle permet de représenter des interactions assez élaborées entre client et fournisseur sous la forme de sollicitations (« Request for Bid ») définie par une référence de produit, une quantité demandée, un prix, un délai de livraison,...

L'objectif est de retarder au maximum la décision de fixer l'ordonnancement au niveau des ressources. Lorsqu'une sollicitation arrive à l'agent de planification, celui-ci établit des engagements de capacité sur les différentes ressources impliquées et définit des fenêtres de production (date de lancement au plus tôt et au plus tard). Une fonction de probabilité permet de placer la tâche à l'intérieur de la fenêtre. Ensuite il y a négociation entre les ressources pour respecter à la fois leur contrainte de capacité et les délais imposés.

#### Projet 6 : NETMAN

Le projet NEMAN a été développé au CENTOR de l'université de Laval. Il propose de modéliser la chaîne logistique autour de la notion d'unité d'affaire, appelés Network center. Chacune est autonome et indépendante et établit des liens avec d'autres unités. Le but est d'étudier les leviers de coordination entre les entités dans un environnement de planification distribuée.

Un centre NetMan est constitué d'un système de décision et d'information (unité NetMan) et d'un système physique (machines, outils, travailleurs). L'unité NetMan assure la coordination avec les autres centres NetMan, la planification des opérations et le suivi des opérations du centre. Les protocoles de coordination entre centres NetMan sont au centre de la problématique. Chaque centre reçoit des demandes (besoins clients prévisionnels, planifiés ou réels) et exprime en retour un plan de satisfaction de ces besoins. Le même genre d'échange est établi avec le fournisseur du centre NetMan à qui le centre exprime des besoins et duquel il reçoit un plan de réponse à ces besoins. Charge ensuite au centre NetMan d'établir son plan de production interne pour organiser sa production et satisfaire la demande. La planification est effectuée sur la base d'un calcul des besoins de type MRP où chaque centre est capable d'évaluer la capacité de réponse de son fournisseur (« capability »). Cette évaluation se base sur un modèle interne au centre NetMan. Celui-ci intègre les nouveaux besoins à ce modèle et démarre une action si la capacité estimée du fournisseur ne semble pas suffisante pour répondre au besoin (de l'action ne rien faire, à l'action demander une accélération exceptionnelle en passant par vérifier la capacité du fournisseur à répondre au besoin). D'après les exemples décrits dans (Montreuil *et al.*, 2000), les protocoles de types kanban (JIT) semblent possibles entre deux centres NetMan. De plus, les liens de parenté possible entre centres NetMan rend possible l'allocation multi-site de la capacité avec négociation pour les situations de conflits sur des ressources partagées.

#### Projet 7 :

Ces travaux ont été développés dans le cadre de la thèse de T. Moyaux (2004) dans le but d'étudier la réduction de l'impact de l'effet coup de fouet au travers de différentes stratégies de coordination. Il propose de distinguer deux processus de coordination : commander au fournisseur exactement les besoins émis par le consommateur et donner le moyen aux entreprises de réagir une seule fois à chaque changement de consommation dans le marché.

Chaque acteur de la chaîne est modélisée par un agent qui dispose d'une stratégie précise pour le passage des commandes. Dans la thèse de T. Moyaux (2004), les mécanismes de coordination sont comparés à différentes stratégies de passations de commandes plus classiques (calcul des besoins simple, (s, S) et variations de ces techniques).

#### Projet 8 :

Ces travaux sont relatifs à la thèse d'O. Telle (2003), dans lesquels l'objectif est de proposer un outil d'aide à décision pour l'évaluation de la performance d'un réseau d'approvisionnement. L'intérêt de modéliser

avec deux niveau d'agrégation (1 agent = 1 entreprise + horizon de temps long) est ici présenté comme le moyen « d'isoler les interactions internes à l'entreprise de celles externes » et de s'affranchir de ses dernières dans l'analyse. Chaque agent entreprise est ensuite décomposé en quatre sous agents associés aux différentes fonctions de décisions du système de gestion de la production (agent Planification) ainsi qu'aux systèmes physiques impliqués par ces fonctions (agents Production, Approvisionnement et Distribution).

Le cas d'application illustre l'utilisation du modèle pour aider à la mise au point de la collaboration entre un donneur d'ordre et un fournisseur de rang 1, lui même, en relation avec un fournisseur de rang 2. Seul l'agent fournisseur est modélisé en détails. Certaines données doivent lui être fixées : capacité, durée de fabrication, taille de lot, temps de changement de série. L'agent fournisseur est également défini par un certain nombre de comportements et leurs paramètres associés : la politique de gestion de la production (MRP ou kanban), la politique de gestion des stocks (point de commande, reapprovisionnement périodique ou MRP), le niveau de crédibilité accordé aux informations en provenance du donneur d'ordre et celui accordé aux performance de livraison du fournisseur.

#### Projet 9 :

Ces travaux menés au sein de l'University College London s'intéressent à l'association de systèmes multi-agents et de techniques d'optimisation sur la problématique des approvisionnements multi-site avec une contrainte de ressource sur le moyen d'approvisionnement. Les problèmes d'approvisionnements et d'ordonnancement de chaque site sont traités par un outil d'optimisation à partir de décision d'approvisionnement prises individuellement par des agents entreprises. Chacun est libre de choisir une politique d'approvisionnement particulière.

#### Projet 10 : FOR@C, plateforme de simulation

Le consortium de recherche For@c est à l'origine d'une plateforme de simulation permettant de tester différentes configurations de réseaux de création de valeur pour l'industrie des produits forestiers et différentes approches de planification pour chacune des unités d'affaires qui la composent. La plateforme expérimentale de planification s'appuie sur un modèle multi-agents de la planification distribuée caractéristique de ces réseaux.

Chaque unité d'affaire de la chaîne est modélisée au travers de différents agents sur la base de la décomposition proposée par le Supply Chain Council (Supply Chain Council, 2008). Un agent « source » est responsable du lien avec le ou les agents fournisseurs. Il prend les décisions d'approvisionnement en appliquant les stratégies qui le caractérisent. Un agent « deliver » est responsable du lien avec le ou les agents clients. Il est en charge de la livraison des commandes clients (pour lesquelles il a un critère de priorisation) et de la transmission des informations relative à la capacité de l'unité d'affaire à respecter la commande ou non. Il est capable de gérer des relations classiques à la commande mais aussi des relations plus élaborées de type VMI. Il transmet également des informations sur l'ATP. Des agents « make » sont responsables chacun d'une unité de production de l'unité d'affaire et de sa planification. Les modèles des processus de planifications peuvent être différents d'un agent make à un autre. Ils s'agit de modèles d'optimisation (Mixed Integer Programming et Constraint programming dans l'exemple développé dans (Frayret *et al.*, 2008)). Le plan de capacité associé à chaque agent lui est donné en tant que paramètre (« machine capacity calendar ») ainsi que d'autres données (coûts de production, stockage, matières premières, fenêtre d'expédition, horizons gelés,...).

(Forget *et al.*, 2008) proposent une vue générale de la plateforme de planification. Les agents sont présentés comme des agents cognitifs capable d'actions de réaction (« Technical competencies »), d'anticipation (« Decision competencies ») et de négociation (« Social competencies »).

#### Projet 11: SPEE (Simulation Platform for Extended Enterprises)

Cette démarche consiste à représenter et simuler des comportements de clients ainsi que les comportements de commandes et d'achat qu'ils génèrent sur la chaîne (entreprise étendue). Elle permet aux entreprises d'estimer leur capacité à produire et à honorer les dates de livraison promises dans un

contexte de production sur commandes. (Montreuil *et al.*, 2006a) présentent un cas d'application pour la chaîne logistique relative au marché des motos neiges en Amérique du Nord

Le modèle est composé de plusieurs agents. Il y en a un pour chaque entité (vendeur, producteur, prestataire logistique). L'originalité repose sur la modélisation de types de client, chacun représenté par un agent aux comportements « d'achat » spécifiques : identité, personnalité, profil de demande (livraison immédiate, prêt à accepter un certain délai, livraison à date donnée, livraison au plus tard le (Montreuil *et al.*, 2006)), budget, période d'achat, type de bien recherché, ... Le réseau de vente est décomposé en trois types de sous-agents : des vendeurs en relation avec le client avec des capacités plus ou moins grandes pour le satisfaire, un acheteur en charge du réapprovisionnement du réseau (facteur de risque associé aux commandes) et un manager qui suit les indicateurs financiers (stocks, ventes, marge brute, trésorerie) et ajuste le nombre d'agents vendeurs et de produits en stocks ou en exposition. L'assembleur est décomposé en quatre agents : un planificateur dont l'objectif est d'optimiser le planning de production (minimisation des temps et des coûts de set-up par heuristique (Montreuil, 2005)) à partir des commandes qu'il a reçues, un acheteur qui passe les commandes auprès des fournisseurs de composants (notion de risque dans les quantités commandées) et peut modifier le planning de production en cas de rupture prévue, un agent superviseur de production qui doit s'assurer du respect des plans (pannes) et un agent distributeur responsable de la distribution des produits assemblés vers le réseau de vente en passant par un prestataire logistique. Ce prestataire logistique est représenté par un agent, décomposé en deux sous-agents : un planificateur en charge de l'optimisation des livraisons sur le réseau de vente à partir d'une flotte de camion à sa disposition de manière optimale (délais et occupation de la capacité des camions) et un pilote de la flotte en charge de l'exécution du plan de livraison qui contrôle la flotte.

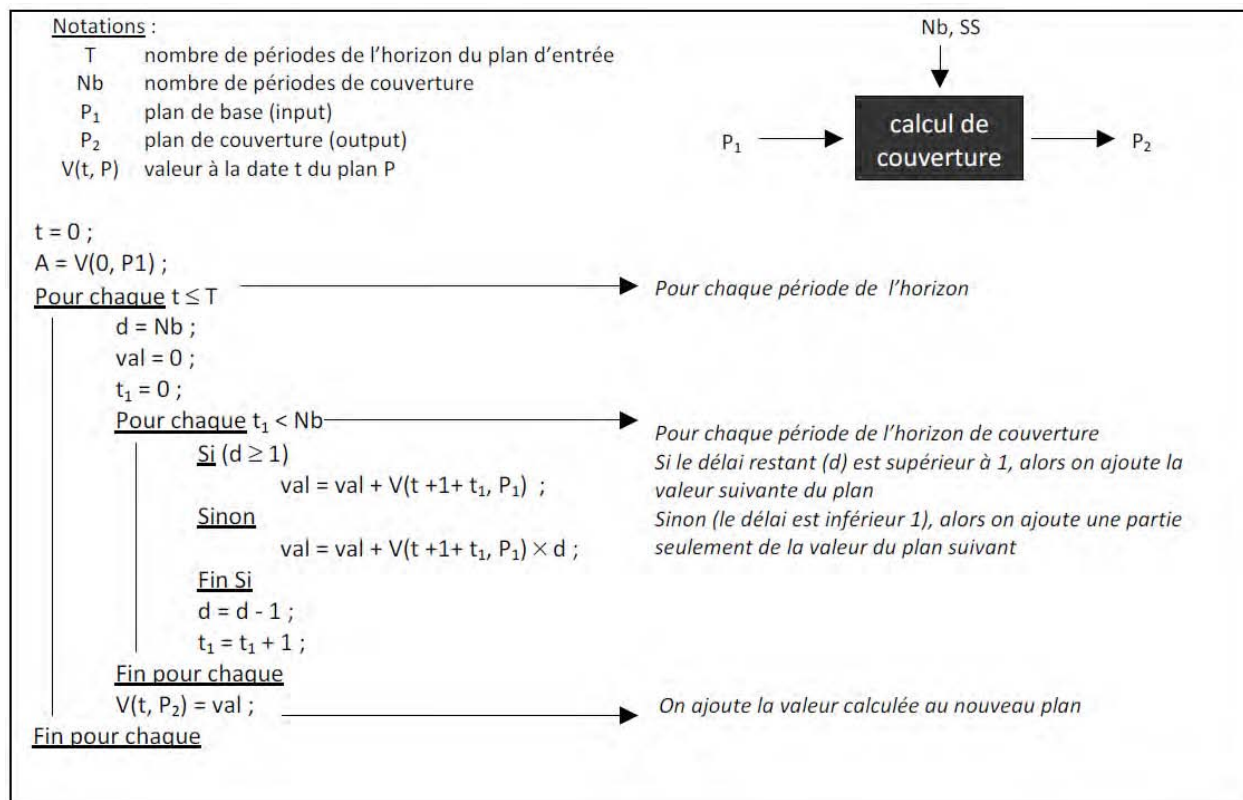
Les fournisseurs sont chacun modélisé de manière agrégée par une capacité de production, un délai de livraison et différentes autres informations (quantité minimale de commande, prix, qualité de la distribution, ...). Le transport entre le fournisseur et l'unité d'assemblage est à la charge du fournisseur et non modélisée en détails. Lorsque le fournisseur reçoit une commande de l'acheteur de l'unité d'assemblage, il lui donne en retour des informations relatives aux dates de livraisons et l'informe, le cas échéant, sur les retards éventuels.

#### Projet 12 :

Les travaux de (Roy *et al.*, 2004; Monteiro *et al.*, 2007) sont centrés sur les processus de planification des acteurs de la chaîne. Chacun d'eux est modélisé par un agent planning. Chacun réalise ses plans de manière individuelle et propage au suivant. Si l'un d'eux rencontre un problème (une impossibilité), alors un agent négociation est créé. Son rôle est de s'assurer de la convergence « rapide » de la négociation sur la coordination des deux acteurs. Si la convergence n'a pas lieu, c'est l'agent médiateur de la chaîne qui prend le relais.



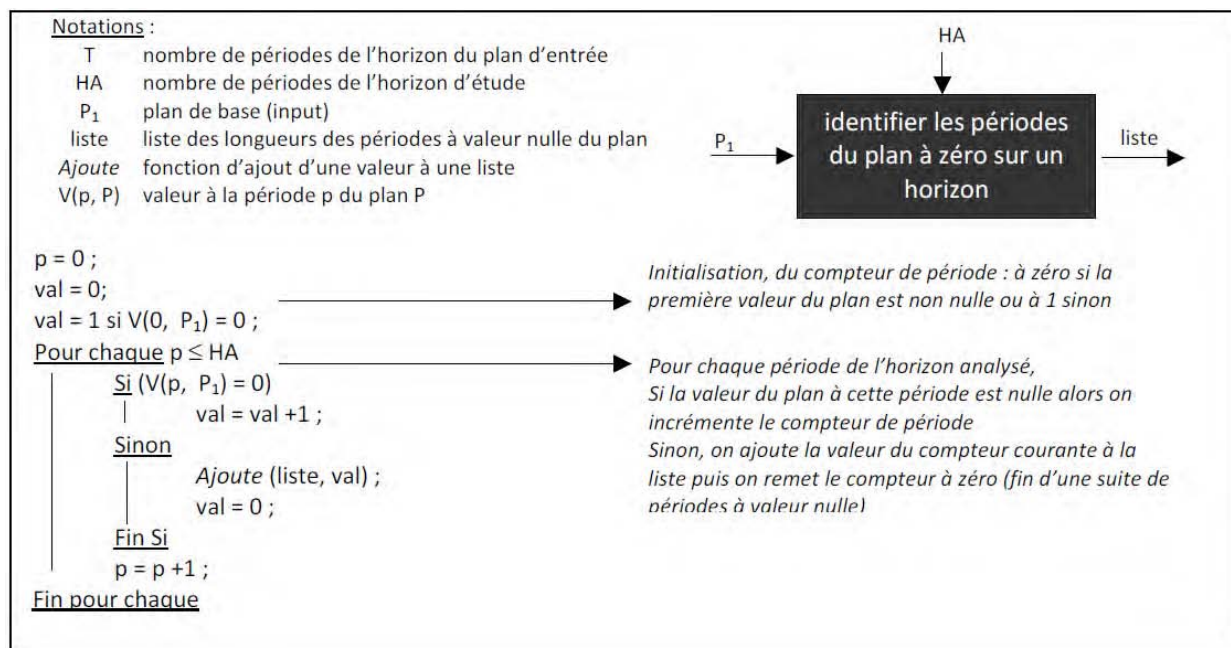
## Annexe 4 MODELE DE LA FONCTION COUVERTURE ( $COUV(PLAN ; Nb)$ )



Algorithme 1 : fonction de calcul d'une couverture sur un plan (*couv()*)



## Annexe 5 FONCTION DE CONSTRUCTION DE LA LISTE DES LONGUEURS DE PERIODES A VALEUR NULLE D'UN PLAN



**Algorithme 2 : fonction de construction de la liste des longueurs de périodes à valeur nulle d'un plan**





## Annexe 6 ANALYSE DE VARIANCE 1

Le Tableau A.1 donne les résultats de l'analyse de variance 1 (Pb1, commande – engagement sur approvisionnement). Les lignes grisées correspondent à l'évaluation de l'effet des facteurs (facteur-niveau) (facteur2 et niveau2 = « vide »). Les autres valeurs correspondent à la l'évaluation des interactions entre facteurs (et leurs niveaux). La première ligne (« moyenne ») donne la valeur moyenne de chaque indicateur sur l'ensemble des 2268 expériences

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
moyenne	(vide)	(vide)	(vide)	0,09		1,02		12,40		1,48	
rebut	0,01	type_aval	FPB	0,00	1	0,00	0	-0,03	0	0,00	0
			FPH	-0,04	1	-0,04	0	-0,18	0	0,00	0
			MP	0,00	1	0,00	0	-0,06	0	0,00	0
			PP	0,02	1	0,01	0	-0,02	0	0,00	0
			PTB	0,03	1	0,02	0	0,46	0	-0,01	0
			PTH	-0,02	1	-0,01	0	-0,17	0	0,01	0
		(vide)	(vide)	-0,04	1	-0,03	1	0,39	1	0,01	0
	0,05	type_aval	FPB	0,01	1	0,00	0	0,03	0	0,00	0
			FPH	0,00	1	0,00	0	0,02	0	0,00	0
			MP	0,00	1	0,00	0	0,03	0	0,00	0
			PP	0,00	1	0,00	0	0,02	0	0,00	0
			PTB	0,01	1	0,01	0	-0,16	0	0,00	0
			PTH	0,00	1	0,00	0	0,06	0	0,00	0
		(vide)	(vide)	-0,01	1	-0,01	1	0,00	1	0,00	0
	0,1	type_aval	FPB	-0,01	1	-0,01	0	-0,01	0	0,00	0
			FPH	0,04	1	0,04	0	0,17	0	0,00	0
			MP	0,00	1	0,00	0	0,04	0	0,00	0
			PP	-0,02	1	-0,02	0	0,00	0	0,00	0
			PTB	-0,04	1	-0,03	0	-0,30	0	0,01	0
			PTH	0,02	1	0,01	0	0,11	0	-0,01	0

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
		(vide)	(vide)	0,04	1	0,03	1	-0,40	1	-0,01	0
reglage	r1	rebut	0,01	-0,01	1	-0,01	0	-0,01	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	0,01	0	0,00	0
			0,1	0,02	1	0,01	0	0,00	0	0,00	0
		taille_lot_four	10000	0,03	1	0,02	0	-0,33	1	-0,01	0
			50000	-0,01	1	0,00	0	0,06	1	0,00	0
			100000	-0,02	1	-0,01	0	0,28	1	0,01	0
		type_aval	FPB	-0,01	1	-0,13	1	-1,15	1	0,18	1
			FPH	0,08	1	-0,17	1	-1,16	1	0,36	1
			MP	-0,02	1	-0,03	1	-1,09	1	0,42	1
			PP	-0,04	1	0,08	1	-0,53	1	0,39	1
			PTB	-0,05	1	0,29	1	5,12	1	-1,95	1
			PTH	0,04	1	-0,04	1	-1,19	1	0,60	1
		(vide)	(vide)	0,06	1	-0,29	1	0,75	1	-0,25	1
	r2	rebut	0,01	0,00	1	0,00	0	0,00	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	-0,05	0	0,00	0
			0,1	0,01	1	0,01	0	0,05	0	0,00	0
		taille_lot_four	10000	-0,01	1	0,00	0	0,14	1	0,00	0
			50000	0,01	1	0,00	0	-0,06	1	0,00	0
			100000	0,00	1	0,00	0	-0,08	1	0,00	0
		type_aval	FPB	0,00	1	0,02	1	0,19	1	0,15	1
			FPH	0,02	1	-0,14	1	0,20	1	0,14	1
			MP	-0,01	1	0,08	1	0,29	1	0,10	1
			PP	-0,01	1	0,13	1	0,19	1	0,05	1
			PTB	0,00	1	0,10	1	-1,07	1	-0,60	1
			PTH	0,01	1	-0,20	1	0,21	1	0,17	1
		(vide)	(vide)	0,00	1	-0,11	1	-0,32	1	-0,13	1
	r3	rebut	0,01	0,02	1	0,01	0	0,01	0	0,00	0

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
			0,05	0,00	1	0,00	0	0,03	0	0,00	0
			0,1	-0,02	1	-0,02	0	-0,04	0	0,00	0
			taille_lot_four	-0,02	1	-0,01	0	0,19	1	0,01	0
		type_aval	50000	0,00	1	0,00	0	0,00	1	0,00	0
			100000	0,02	1	0,01	0	-0,20	1	-0,01	0
			FPB	0,01	1	0,11	1	0,97	1	-0,32	1
			FPH	-0,10	1	0,31	1	0,97	1	-0,50	1
			MP	0,03	1	-0,05	1	0,80	1	-0,52	1
			PP	0,05	1	-0,21	1	0,33	1	-0,44	1
			PTB	0,05	1	-0,40	1	-4,05	1	2,55	1
			PTH	-0,05	1	0,25	1	0,98	1	-0,77	1
		(vide)	(vide)	-0,06	1	0,39	1	-0,44	1	0,38	1
taille_lot_four	10000	rebut	0,01	-0,02	1	-0,01	0	-0,14	0	0,01	0
			0,05	-0,01	1	0,00	0	0,02	0	0,00	0
			0,1	0,02	1	0,02	0	0,12	0	-0,01	0
		type_aval	FPB	0,02	1	0,02	0	1,12	1	0,00	0
			FPH	0,01	1	0,02	0	5,49	1	0,00	0
			MP	0,01	1	0,01	0	2,72	1	0,00	0
			PP	0,01	1	0,00	0	-0,59	1	-0,01	0
			PTB	-0,03	1	-0,02	0	-13,54	1	0,01	0
			PTH	-0,02	1	-0,02	0	4,80	1	0,00	0
		(vide)	(vide)	0,06	1	0,03	1	-6,63	1	-0,02	0
	50000	rebut	0,01	0,00	1	0,00	0	0,05	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	-0,16	0	0,00	0
			0,1	0,00	1	0,00	0	0,10	0	0,00	0
		type_aval	FPB	0,00	1	0,00	0	-0,15	1	0,00	0
			FPH	0,02	1	0,01	0	-0,37	1	0,00	0
			MP	-0,01	1	0,00	0	-0,23	1	0,00	0

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
		PP	PP	-0,01	1	-0,01	0	-0,26	1	0,01	0
		PTB	PTB	0,00	1	0,00	0	1,25	1	0,00	0
		PTH	PTH	0,01	1	0,00	0	-0,24	1	0,00	0
		(vide)	(vide)	-0,01	1	-0,01	1	0,30	1	0,01	0
	100000	rebut	0,01	0,01	1	0,01	0	0,09	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	0,14	0	0,00	0
			0,1	-0,02	1	-0,01	0	-0,23	0	0,00	0
		type_aval	FPB	-0,01	1	-0,01	0	-0,97	1	0,00	0
			FPH	-0,03	1	-0,03	0	-5,12	1	0,00	0
			MP	0,00	1	0,00	0	-2,49	1	0,00	0
			PP	0,01	1	0,01	0	0,84	1	0,00	0
			PTB	0,03	1	0,02	0	12,29	1	-0,01	0
			PTH	0,01	1	0,01	0	-4,56	1	0,00	0
		(vide)	(vide)	-0,04	1	-0,03	1	6,33	1	0,02	0
type_appro	Commande	rebut	0,01	-0,01	1	-0,01	0	-0,01	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	-0,05	0	0,00	0
			0,1	0,02	1	0,01	0	0,07	0	0,00	0
		reglage	r1	0,04	1	-0,20	1	-0,60	1	-0,32	1
			r2	0,01	1	-0,15	1	0,26	1	-0,09	1
			r3	-0,05	1	0,35	1	0,34	1	0,41	1
		taille_lot_four	10000	-0,02	1	-0,01	0	0,52	1	0,01	0
			50000	0,02	1	0,01	0	-0,16	1	-0,01	0
			100000	0,00	1	0,00	0	-0,37	1	0,00	0
		type_aval	FPB	-0,02	1	0,20	1	-0,30	1	-0,30	1
			FPH	0,09	1	0,19	1	0,54	1	-0,44	1
			MP	-0,03	1	0,00	1	0,50	1	-0,42	1
			PP	-0,06	1	0,02	1	0,53	1	-0,43	1
			PTB	-0,04	1	-0,23	1	-1,29	1	1,87	1

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Interaction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
	Eng. Appro.		PTH	0,06	1	-0,17	1	0,03	1	-0,28	1
		(vide)	(vide)	0,03	1	0,22	1	-0,69	1	0,33	1
		rebut	0,01	0,01	1	0,01	0	0,01	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	0,05	0	0,00	0
			0,1	-0,02	1	-0,01	0	-0,07	0	0,00	0
		reglage	r1	-0,04	1	0,20	1	0,60	1	0,32	1
			r2	-0,01	1	0,15	1	-0,26	1	0,09	1
			r3	0,05	1	-0,35	1	-0,34	1	-0,41	1
		taille_lot_four	10000	0,02	1	0,01	0	-0,52	1	-0,01	0
			50000	-0,02	1	-0,01	0	0,16	1	0,01	0
			100000	0,00	1	0,00	0	0,37	1	0,00	0
		type_aval	FPB	0,02	1	-0,20	1	0,30	1	0,30	1
			FPH	-0,09	1	-0,19	1	-0,54	1	0,44	1
			MP	0,03	1	0,00	1	-0,50	1	0,42	1
			PP	0,06	1	-0,02	1	-0,53	1	0,43	1
			PTB	0,04	1	0,23	1	1,29	1	-1,87	1
			PTH	-0,06	1	0,17	1	-0,03	1	0,28	1
		(vide)	(vide)	-0,03	1	-0,22	1	0,69	1	-0,33	1
type_aval	FPB	(vide)	(vide)	-0,01	1	0,71	1	-2,21	1	-0,56	1
	FPH	(vide)	(vide)	0,12	1	1,17	1	-8,54	1	-1,07	1
	MP	(vide)	(vide)	-0,03	1	-0,17	1	-4,47	1	-0,46	1
	PP	(vide)	(vide)	-0,04	1	-0,43	1	0,21	1	-0,06	1
	PTB	(vide)	(vide)	-0,07	1	-1,01	1	22,14	1	2,71	1
	PTH	(vide)	(vide)	0,04	1	-0,27	1	-7,12	1	-0,56	1

Tableau A.1 : Résultats Analyse de Variance 1



## Annexe 7 ANALYSE DE VARIANCE 2

Le Tableau A.2 donne les résultats de l'analyse de variance 2 (Pb1, commande – engagement sur approvisionnement – tire). Les lignes grisées correspondent à l'évaluation de l'effet des facteurs (facteur-niveau) (facteur2 et niveau2 = « vide »). Les autres valeurs correspondent à la l'évaluation des interactions entre facteurs (et leurs niveaux). La première ligne (« moyenne ») donne la valeur moyenne de chaque indicateur sur l'ensemble des 3402 expériences

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
moyenne	(vide)	(vide)	(vide)	0,11		0,81		12,37		1,54	
rebut	0,01	type_aval	FPB	0,00	1	-0,01	1	0,00	0	0,01	0
			FPH	-0,03	1	-0,10	1	-0,20	0	0,01	0
			MP	0,00	1	0,02	1	-0,05	0	0,00	0
			PP	0,01	1	0,04	1	0,00	0	-0,01	0
			PTB	0,03	1	0,05	1	0,41	0	-0,02	0
			PTH	-0,01	1	0,00	1	-0,16	0	0,02	0
		(vide)	(vide)	-0,03	1	-0,05	1	0,37	1	0,02	0
	0,05	type_aval	FPB	0,00	1	0,01	1	-0,02	0	0,00	0
			FPH	0,00	1	0,00	1	-0,01	0	0,00	0
			MP	0,00	1	0,00	1	0,00	0	0,00	0
			PP	0,00	1	0,00	1	0,03	0	0,00	0
			PTB	0,00	1	0,01	1	-0,04	0	0,00	0
			PTH	0,00	1	-0,01	1	0,03	0	0,00	0
		(vide)	(vide)	0,00	1	-0,01	1	0,02	1	0,00	0
	0,1	type_aval	FPB	-0,01	1	0,00	1	0,01	0	0,00	0
			FPH	0,03	1	0,10	1	0,21	0	-0,01	0
			MP	0,00	1	-0,02	1	0,05	0	0,00	0



				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
reglage	r1	rebut	PP	-0,01	1	-0,04	1	-0,04	0	0,01	0
			PTB	-0,03	1	-0,06	1	-0,37	0	0,02	0
			PTH	0,02	1	0,01	1	0,13	0	-0,02	0
		(vide)	(vide)	0,03	1	0,06	1	-0,39	1	-0,02	0
		taille_lot_four	0,01	-0,01	1	-0,01	0	-0,01	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	-0,01	0	0,00	0
			0,1	0,01	1	0,01	0	0,01	0	0,00	0
		type_aval	10000	0,03	1	0,03	0	-0,22	0	-0,02	0
			50000	-0,01	1	0,00	0	0,07	0	0,01	0
			100000	-0,02	1	-0,02	0	0,15	0	0,01	0
		rebut	FPB	0,00	1	-0,05	1	-0,59	1	0,11	1
			FPH	0,05	1	-0,10	1	-0,34	1	0,23	1
			MP	-0,01	1	-0,01	1	-0,63	1	0,27	1
		type_aval	PP	-0,02	1	0,05	1	-0,39	1	0,26	1
			PTB	-0,05	1	0,17	1	2,32	1	-1,28	1
			PTH	0,02	1	-0,05	1	-0,37	1	0,41	1
		(vide)	(vide)	0,05	1	-0,17	1	-0,05	1	-0,18	1
	r2	rebut	0,01	0,00	1	0,00	0	0,00	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	-0,02	0	0,00	0
			0,1	0,00	1	0,00	0	0,02	0	0,00	0
		taille_lot_four	10000	-0,01	1	-0,01	0	0,12	0	0,01	0
			50000	0,01	1	0,00	0	-0,07	0	-0,01	0
			100000	0,00	1	0,00	0	-0,05	0	0,00	0
		type_aval	FPB	0,00	1	0,00	1	0,10	1	0,10	1
			FPH	0,01	1	-0,10	1	0,16	1	0,09	1
			MP	-0,01	1	0,06	1	0,24	1	0,07	1
			PP	-0,01	1	0,09	1	0,10	1	0,04	1
			PTB	0,00	1	0,08	1	-0,80	1	-0,40	1

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Intera ction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
			PTH	0,00	1	-0,13	1	0,21	1	0,11	1
		(vide)	(vide)	0,00	1	-0,08	1	-0,25	1	-0,08	1
		rebut	0,01	0,01	1	0,01	0	0,01	0	0,00	0
	r3	rebut	0,05	0,00	1	0,00	0	0,02	0	0,00	0
			0,1	-0,01	1	-0,01	0	-0,03	0	0,00	0
		taille_lot_four	10000	-0,02	1	-0,02	0	0,10	0	0,01	0
			50000	0,00	1	0,00	0	0,00	0	0,00	0
			100000	0,02	1	0,02	0	-0,10	0	-0,01	0
		type_aval	FPB	0,00	1	0,05	1	0,49	1	-0,20	1
			FPH	-0,07	1	0,20	1	0,18	1	-0,32	1
			MP	0,02	1	-0,04	1	0,38	1	-0,34	1
			PP	0,03	1	-0,14	1	0,30	1	-0,30	1
			PTB	0,05	1	-0,25	1	-1,51	1	1,68	1
			PTH	-0,03	1	0,18	1	0,16	1	-0,52	1
		(vide)	(vide)	-0,05	1	0,25	1	0,31	1	0,27	1
taille_lot_four	10000	rebut	0,01	-0,01	1	-0,02	0	-0,13	0	0,01	0
			0,05	0,00	1	-0,01	0	0,00	0	0,00	0
			0,1	0,02	1	0,03	0	0,13	0	-0,01	0
		type_aval	FPB	0,03	1	0,09	1	1,29	1	-0,04	0
			FPH	0,01	1	0,07	1	5,45	1	0,00	0
			MP	0,01	1	-0,02	1	2,66	1	0,00	0
			PP	0,01	1	-0,03	1	-0,72	1	0,00	0
			PTB	-0,03	1	-0,06	1	-13,43	1	0,03	0
			PTH	-0,02	1	-0,05	1	4,75	1	0,01	0
		(vide)	(vide)	0,05	1	0,07	1	-6,38	1	-0,04	0
	50000	rebut	0,01	0,00	1	0,00	0	0,07	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,00	0	-0,13	0	0,00	0
			0,1	0,00	1	0,00	0	0,06	0	0,00	0

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Intera ction	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
		type_aval	FPB	-0,01	1	-0,02	1	-0,15	1	0,01	0
			FPH	0,01	1	0,01	1	-0,25	1	-0,01	0
			MP	0,00	1	0,00	1	-0,19	1	0,00	0
			PP	-0,01	1	-0,01	1	-0,10	1	0,01	0
			PTB	0,00	1	0,00	1	0,83	1	0,00	0
			PTH	0,01	1	0,01	1	-0,15	1	-0,01	0
		(vide)	(vide)	-0,01	1	-0,01	1	0,18	1	0,01	0
	100000	rebut	0,01	0,01	1	0,02	0	0,06	0	0,00	0
			0,05	0,00	1	0,01	0	0,13	0	0,00	0
			0,1	-0,01	1	-0,02	0	-0,19	0	0,01	0
		type_aval	FPB	-0,02	1	-0,06	1	-1,14	1	0,03	0
			FPH	-0,02	1	-0,08	1	-5,21	1	0,01	0
			MP	0,00	1	0,01	1	-2,46	1	0,00	0
			PP	0,01	1	0,03	1	0,82	1	-0,01	0
			PTB	0,03	1	0,06	1	12,59	1	-0,03	0
			PTH	0,01	1	0,04	1	-4,60	1	0,00	0
		(vide)	(vide)	-0,04	1	-0,06	1	6,20	1	0,04	0
	Commande	rebut	0,01	-0,02	1	0,02	1	0,01	0	-0,01	0
			0,05	0,00	1	0,00	1	-0,07	0	0,00	0
			0,1	0,02	1	-0,02	1	0,06	0	0,01	0
		reglage	r1	0,05	1	-0,32	1	0,20	1	-0,38	1
			r2	0,01	1	-0,18	1	0,20	1	-0,14	1
			r3	-0,06	1	0,50	1	-0,40	1	0,52	1
		taille_lot_four	10000	-0,01	1	-0,04	1	0,26	1	0,03	0
			50000	0,01	1	0,01	1	-0,03	1	-0,01	0
			100000	0,00	1	0,03	1	-0,23	1	-0,02	0
		type_aval	FPB	-0,04	1	0,40	1	0,68	1	-0,42	1
			FPH	0,05	1	0,20	1	1,18	1	-0,58	1
			MP	-0,02	1	0,04	1	0,74	1	-0,59	1
type_appro	Commande	rebut	0,01	-0,02	1	0,02	1	0,01	0	-0,01	0
			0,05	0,00	1	0,00	1	-0,07	0	0,00	0
			0,1	0,02	1	-0,02	1	0,06	0	0,01	0
		reglage	r1	0,05	1	-0,32	1	0,20	1	-0,38	1
			r2	0,01	1	-0,18	1	0,20	1	-0,14	1
			r3	-0,06	1	0,50	1	-0,40	1	0,52	1
		taille_lot_four	10000	-0,01	1	-0,04	1	0,26	1	0,03	0
			50000	0,01	1	0,01	1	-0,03	1	-0,01	0
			100000	0,00	1	0,03	1	-0,23	1	-0,02	0
		type_aval	FPB	-0,04	1	0,40	1	0,68	1	-0,42	1
			FPH	0,05	1	0,20	1	1,18	1	-0,58	1
			MP	-0,02	1	0,04	1	0,74	1	-0,59	1

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Intera	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
				ction		action		action		action	
			PP	-0,04	1	-0,01	1	0,53	1	-0,57	1
			PTB	-0,02	1	-0,44	1	-3,59	1	2,65	1
			PTH	0,06	1	-0,19	1	0,45	1	-0,48	1
			(vide)	(vide)	0,01	1	0,43	1	-0,66	1	0,28
		Eng, Appro,	rebut	0,01	0,01	1	0,04	1	0,04	0	-0,01
	0,05			0,00	1	0,00	1	0,03	0	0,00	0
	0,1			-0,01	1	-0,04	1	-0,07	0	0,01	0
	reglage		r1	-0,03	1	0,08	1	1,41	1	0,25	1
			r2	-0,01	1	0,12	1	-0,33	1	0,05	1
			r3	0,04	1	-0,20	1	-1,08	1	-0,30	1
	taille_lot_four		10000	0,02	1	-0,03	1	-0,78	1	0,01	0
			50000	-0,02	1	-0,01	1	0,28	1	0,01	0
			100000	0,00	1	0,04	1	0,50	1	-0,02	0
	type_aval		FPB	0,00	1	0,01	1	1,29	1	0,19	1
			FPH	-0,12	1	-0,18	1	0,11	1	0,31	1
			MP	0,04	1	0,04	1	-0,25	1	0,24	1
			PP	0,08	1	-0,04	1	-0,53	1	0,29	1
			PTB	0,07	1	0,02	1	-1,01	1	-1,09	1
	PTH		-0,05	1	0,16	1	0,39	1	0,07	1	
	(vide)	(vide)	-0,05	1	-0,02	1	0,73	1	-0,38	1	
	Tire	rebut	0,01	0,01	1	-0,05	1	-0,05	0	0,02	0
			0,05	0,00	1	0,00	1	0,04	0	0,00	0
			0,1	-0,01	1	0,06	1	0,01	0	-0,02	0
		reglage	r1	-0,02	1	0,24	1	-1,61	1	0,13	1
			r2	0,00	1	0,06	1	0,13	1	0,09	1
			r3	0,02	1	-0,30	1	1,48	1	-0,22	1
		taille_lot_four	10000	-0,01	1	0,07	1	0,52	1	-0,04	0
			50000	0,01	1	0,00	1	-0,25	1	0,00	0
			100000	0,00	1	-0,07	1	-0,27	1	0,04	0

				Indicateurs							
				rupture Fournisseur_moyenne		rupture PFDC_moyenne		Stock_fourn_moyen		Stock_PFDC_moyen	
facteur	niveau	facteur2	niveau2	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)	Max Effet_Inter action	Moyenne Significatif (Oui 1/ Non 0)
		type_aval	FPB	0,04	1	-0,41	1	-1,97	1	0,23	1
			FPH	0,06	1	-0,02	1	-1,29	1	0,28	1
			MP	-0,01	1	-0,07	1	-0,49	1	0,35	1
			PP	-0,04	1	0,06	1	0,00	1	0,29	1
			PTB	-0,05	1	0,41	1	4,59	1	-1,57	1
			PTH	-0,01	1	0,03	1	-0,84	1	0,41	1
		(vide)	(vide)	0,04	1	-0,41	1	-0,07	1	0,11	1
type_aval	FPB	(vide)	(vide)	0,01	1	0,50	1	-3,19	1	-0,45	1
	FPH	(vide)	(vide)	0,15	1	1,16	1	-9,19	1	-0,93	1
	MP	(vide)	(vide)	-0,04	1	-0,20	1	-4,72	1	-0,28	1
	PP	(vide)	(vide)	-0,06	1	-0,40	1	0,21	1	0,09	1
	PTB	(vide)	(vide)	-0,10	1	-0,81	1	24,43	1	1,93	1
	PTH	(vide)	(vide)	0,03	1	-0,26	1	-7,54	1	-0,36	1

Tableau A.2 : Résultats Analyse de Variance 2



## **« MANAGEMENT DES RISQUES POUR L'AIDE A LA GESTION DE LA COLLABORATION AU SEIN D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE : UNE APPROCHE PAR SIMULATION »**

**Résumé :** la « collaboration au sein d'une chaîne logistique » s'exprime dans un contexte particulier fait d'aléas, d'échanges d'informations plus ou moins formalisés, pertinents ou efficaces, et de jeux de pouvoirs où chacun cherche à imposer ses contraintes à l'autre. Elle peut ainsi être définie autour de trois notions clés : des protocoles (processus partagés entre partenaires), des comportements (processus individuels à chaque partenaire), des aléas qui rendent incertain le niveau de performance.

Afin d'anticiper les conséquences possibles de certaines situations, il importe donc d'être capable de représenter et d'évaluer les conséquences d'éventuelles décisions (protocoles et comportements) ou aléas sur la relation. Outil de prospection, la « simulation des processus de planification d'une chaîne logistique » s'inscrit donc parfaitement dans cette démarche d'évaluation *a priori*. Les fonctionnalités d'un outil de simulation à événements discrets à base d'agents ont été étendues dans cette thèse afin de représenter et de simuler un certains nombres de protocoles, comportements et aléas rencontrés dans la réalité industrielle.

L'expression « aide à la gestion de la collaboration » fait ici référence à l'intégration des résultats de simulation au cœur d'une démarche formalisée de management des risques pour aider à paramétrer les protocoles et comportements mis en œuvre dans une relation. Des outils et méthodes ont été développés pour modéliser ce processus de décision afin d'informer de manière pertinente le décideur au moment de son choix (arbres de décision, critères de décision). La prise de décision est un processus marqué par la subjectivité du décideur. Les outils et méthodes doivent donc intégrer cette subjectivité sous toutes ses formes : (i) les préférences relatives aux indicateurs de performances sur lesquels se basent les décisions, (ii) la perception sur la possibilité de l'occurrence d'un aléa, et (iii) les préférences des différents partenaires à prendre en compte dans le raisonnement et (iv) la séquence générale de l'ensemble des aléas et choix de protocoles, comportements identifiés.

La dernière partie de la thèse est consacrée à la mise en œuvre de la démarche sur un cas d'application industriel : l'aide à la gestion de la collaboration entre la branche Dermo-Cosmétique du groupe Pierre-Fabre et ses fournisseurs de produits de conditionnement.

**Mots clés :** Chaîne logistique, Management des risques, Incertitude, Aide à la décision, Simulation, Collaboration.

---

## **« RISK MANAGEMENT TO SUPPORT COLLABORATION INSIDE THE SUPPLY CHAIN: A SIMULATION APPROACH »**

**Summary:** collaboration in the supply chain belongs to a particular context defined by risky events, information exchanges (more or less efficient) and influence games between partners. Then, we can define collaboration by three key dimensions: internal behaviors (individual decision processes), protocols (shared processes) and risky events (scrap, breakdown, market variability...) that imply uncertain supply chain performance.

In order to anticipate the potential consequences of several situations, the consequences of decisions (behaviors and protocols) and/or events on the partnership have to be represented and evaluated. As a prospection tool, the simulation of the actors' planning processes in the supply chain allows an *a priori* assessment of the supply chain performance. The functionalities of a discrete event simulation tool based on a multi-agents system have been extended to new behaviors and protocols or uncertain events met in the reality.

The expression "collaboration support" makes reference to the integration of the simulation results in a global risk management process in order to configure protocols and behaviors inside the collaboration. Several methods and tools have been developed to model the configuration decision process and give the decision-maker relevant information about his decision situation (decision trees, decision criteria...). This decision process is intrinsically subjective. The tools and methods proposed integrate this subjectivity: (i) choice of performance indicators used to decide, (ii) the attitude of actors to uncertainty, (iii) capacity to take into account the "others" in terms of their own risk perception and performance objectives, and (iv) the global sequence of decisions and events.

The last chapter illustrates the method proposed thanks to an application on the collaboration between Pierre-Fabre laboratories and its packaging suppliers.

**Key words :** Supply Chain, Risk Management, Uncertainty, Decision Support, Simulation, Collaboration.